



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2014



**Ubaldo Ginova Ombe
Gemusse**

**Prospecção Geológica dos pegmatitos de
Mogovolas-Moma-Moçambique.**



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2014



**Ubaldo Ginova Ombe
Gemusse**

**Prospecção Geológica dos pegmatitos de
Mogovolas-Moma-Moçambique.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geomateriais e Recursos Geológicos, realizada sob a orientação científica de Fernando Ernesto Rocha de Almeida, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e co-orientação científica de Alexandre Martins Campos de Lima, Professor Auxiliar da Universidade do Porto (FCUP).

O júri

Presidente

Professora Doutora

Professor Auxiliar Maria do Rosário Mascarenhas de Almeida Azevedo do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor

Professor Auxiliar Jorge Manuel Pessoa Girão Medina do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor

Professor Auxiliar Alexandre Martins de Campus Lima da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Prof. Doutor

Professor Associado Fernando Ernesto Rocha de Almeida do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Dedicatória

A minha noiva Nídia, e minha filha Karen, e aos meus pais pelo incentivo em continuar a estudar.

Agradecimentos

A Deus todo-poderoso por me ter facultado o Dom da Sabedoria, a Fé, Perseverança e pela sua protecção, nos momentos difíceis e bons que passei durante o mestrado, Deus é Grande.

A Universidade Pedagógica de Moçambique-Delegação da Beira, que me concedeu a bolsa de estudos que foi indispensável para a minha formação em Portugal, na Universidade de Aveiro e do Porto.

Um agradecimento muito especial aos meus orientadores, Prof. Doutor Fernando Rocha, e ao Prof. Doutor Alexandre M. C. de Lima, pela sua orientação e em especial por ter arranjado um estágio na Empresa Quintos Mineração em Moçambique-Nampula, só com isso é que se desenvolveu o projecto na área dos pegmatitos desta região. Destacam-se dos muitos ensinamentos que me transmitiram, o gosto pelos minerais e pegmatitos e de trabalhar com os SIG.

Ao Dr. Odúlio J. M. de Moura, patrono da Empresa Quintos Mineração, por ter aceitado o desafio de estagiar na sua empresa, sem conhecer a pessoa, e um forte agradecimento a toda sua equipe, começando pelo Sr. Urandi, Birandy, Claudino, Arsénio, Sérgio, dona Rufina, Sandra, não tenho palavras, vocês foram muitos humildes e abertos.

Aos Professores da Universidade de Aveiro, Fernando Almeida, Lopes Velho, Jorge Medina, Semo Matias, Eduardo Ferreira, Maria do Rosário Azevedo, Cristina Bernardes, aos da Universidade do Porto, Alexandre Lima, Fernando Noronha, Maria dos Anjos, Maria Isabel, Iulus Bobós, António Guernet, na qualidade de professores do mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos.

Aos colegas do mestrado de Geomateriais e Recursos Geológicos e de Geologia e de Eng^a. Geológica, pela discussão de alguns conceitos que se encontram nessa dissertação.

Agradecimento ao pessoal da Secretaria do Departamento de Geociências em Aveiro, que estiveram sempre disponíveis em qualquer situação, e dando o seu calor. A Sra. Maria Irene da FCUP pela cuidadosa preparação das lâminas delgadas e espessas.

A Eng^a. Denise Terroso e Cristina Sequeira, pela preparação das amostras e as análises realizadas no laboratório de difracção e fluorescência de raio x na UA-Geociências.

Ao Eng^o. João Ribeiro, o pai grande em informática, afecto no departamento de Geociências-UA, pelo seu apoio informático, e pelas dicas em Arcgis e Quantum Gis, vai um agradecimento especial.

Um agradecimento a Dra. Clara Sena, pelo apoio na formatação do trabalho e na organização dos capítulos, e ao Dr. Álvaro Ribeiro do LNEG-Porto, pela observação dos difratogramas. E a Rita Loureiro pelo carinho e atenção e na correcção linguística do trabalho.

Ao apoio institucional da Universidade Pedagógica de Moçambique-Beira, em particular ao Director da Delegação Prof. Doutor Zacarias Alexandre Ombe, e ao chefe do departamento de Geociências Msc. Mário Silva Uacane

A todos os meus amigos que me auxiliaram com total disponibilidade nos tempos mais difíceis.

Um forte agradecimento a minha família, a base da minha personalidade. Os meus pais, António Gemusse, e Regina Ombe, aos meus irmãos Gil e Marilu, pelo exemplo de família unida e aos meus tios principalmente tia Esperança Ombe e tio Zacarias Ombe, obrigado por tudo, sem o seu apoio o sonho não seria possível.

Este trabalho foi financiado pela bolsa de mestrado da Universidade Pedagógica de Moçambique, com objectivo em introduzir o curso de Geologia nesta Instituição de Ensino e Investigação de Moçambique.

Palavras-chave

Iuluti, Garimpo, Mineração, Prospeção, SIG

Resumo

O campo pegmatítico estudado fica localizado no distrito de Mogovolas, posto administrativo de Iuluti, localidade de Nanhumane e Maraca, e no distrito de Moma, localidade de Mavuco.

As rochas desse campo pertencem ao Complexo de Nampula, subdivisão tectónica estratigráfica do Cinturão de Moçambique Belt, que se situa a SE do Cinturão granulítico do Lurio Belt com direcção WSW-ENE. Os pegmatitos desta região estão instalados numa estrutura de cisalhamento de Mamala, e encaixados em gnaisses leucocráticos e anfibolitos que ocorrem em Iuluti-Chalaua.

As mineralizações em pegmatitos são abundantes no Norte de Moçambique e a sua prospeção e exploração remonta, pelo menos desde o tempo de ocupação colonial o que explica o interesse das empresas mineiras na aquisição de áreas para pesquisa e exploração, o trabalho de campo e de gabinete também centrou-se em fazer uma análise preliminar básica, através de um sistema de informação geográfica, visando a produção de mapas de favorabilidade ou previsionais.

Analisando os locais onde são exploradas gemas (turmalinas e granadas) associadas a pegmatitos. Toda a informação sobre a cartografia geológica existente foi introduzida num SIG, e explorada com uma abordagem “Data Driven”, ou seja, guiada pelos dados e “Knowledge Driven”, ou seja, guiada pelo conhecimento, criando um mapa preditivo que identifica a favorabilidade de algumas zonas dentro da região.

Keywords

Iuluti, Panning, Mining, Exploration, GIS

Abstract

The studied pegmatite field is located in the district of Mogovolas, equally important administrative issues post Iuluti, locality Nanhumane and Maraca, and the district of Moma, locality Mavuco.

The rocks of this field belong to the Nampula Complex, tectonic stratigraphic subdivision of the Mozambique Belt, which lies to the SE of the granulite belt of the Lurio Belt with WSW-ENE direction.

The pegmatite's of this region are installed in a structure of shear Mamala, and embedded in leucocratic gneisses and amphibolites that occur in Iuluti-Chalaua

The mineralization in pegmatites are abundant in northern Mozambique and its exploration and exploitation dates back at least from the time of colonial occupation which explains the interest of mining companies in the acquisition of areas for research and exploration, field work and office also focused on making a basic preliminary analysis, through a system of geographical information in order to produce maps of favorability or projected.

Analyzing the places where gemstones are explored (tourmalines and garnets) associated with pegmatites. All information about the existing geological mapping was introduced in a GIS, and traveled with a "Data Driven", ie, data-driven and "Knowledge Driven", ie knowledge driven approach, creating a predictive map that identifies the favorability certain areas within the region

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Apresentação do problema	12
1.2	Objetivos do Trabalho	12
1.3	Metodologias usadas	13
1.4	Estrutura do trabalho	14
	ENQUADRAMENTO GERAL DE MOÇAMBIQUE E DA ÁREA EM ESTUDO.	15
2	ENQUADRAMENTO GERAL DE MOÇAMBIQUE	17
2.1	Enquadramento da área de estudo	17
2.2	Aspetos físicos da área de estudo	17
2.2.1	Localização do distrito de Mogovolas.....	19
2.2.1.1	Clima e Hidrografia	19
2.2.1.2	Relevo e solos	20
2.2.2	Localização distrito de Moma	20
2.2.2.1	Clima, relevo e solos	20
2.3	Localização Geográfica dos Pontos de amostragem	21
2.4	Geologia de Moçambique.....	22
2.4.1	Geologia da região Norte de Moçambique.....	25
2.4.1.1	Geologia de Iuluti-Chalaua.....	28
2.4.1.2	Formações de laterites	30
2.4.1.3	Coluvião	31
3	PETROGRAFIA.....	35
3.1	Lâminas delgadas	35
3.2	Características Petrográficas de rochas em Iuluti-Chalaua	37
3.2.1	Representação da amostra G-13	39

3.2.1.1	Descrição da lâmina Delgada G-13	40
3.2.1.2	Microclina.....	40
3.2.1.3	Quartzo	42
3.2.2	Descrição da lâmina Delgada 4029	43
3.2.3	Representação da Lâmina Delgada NA-01	46
3.2.4	Representação da Lâmina Delgada 4030	47
3.2.4.1	Granadas	47
3.2.5	Representação da Lâmina Delgada M-14.....	49
CAPÍTULO IV		51
GEOQUÍMICA DA ROCHA TOTAL E MINERAL.....		51
4	GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL E MINERAL	53
4.1	Classificações Químico-Mineralógicas	53
4.1.1	Elementos maiores das amostras (40-29, G-13, NA-01).....	55
4.2	Classificações Químicas	55
4.3	Classificações tectónicas	59
4.4	Diagramas dos elementos traços	61
4.5	Geoquímica dos Minerais.....	62
4.5.1	Serie actinolite-horneblenda (Amostra 4029).....	63
4.5.2	Análise mineralógica da amostra Na-01 e G-13.....	66
4.5.2.1	Calcite.....	69
4.5.2.2	Quartzo	69
4.5.2.3	Feldspatos	69
4.5.3	Triclinicidade dos Feldspatos	70
4.5.4	Resultados da Microsonda electrónica.....	74
CAPÍTULO V		75
SELEÇÃO DE ÁREAS DE PROSPEÇÃO COM RECURSO AOS SIG		75
5	SELEÇÃO DE ÁREAS DE PROSPEÇÃO COM RECURSO AOS SIG	77

5.1	Introdução	77
5.2	Metodologia.....	78
5.2.1	Aquisição e integração dos dados.....	78
5.2.2	Organização da informação	78
5.3	Desenvolvimento dos Trabalhos e Discussão	78
CAPÍTULO VI		82
6	PEGMATOLOGIA	83
6.1	Modelo Genético dos pegmatitos	83
6.1.1	Bolsadas e Cavidades Miarolíticas	86
6.2	Classificação de Pegmatitos	87
6.2.1	Classificação de pegmatitos no Norte de Moçambique.....	89
6.2.1.1	Zoneamento em pegmatitos heterogêneos Cameron et al. 1949:	92
6.2.2	Tipologia dos Pegmatitos de Mogovolas-Iuluti.....	98
6.2.2.1	Turmalinas em Pegmatitos.	99
6.3	Sistemática de pesquisa utilizada nos Pegmatitos de Mogovolas-Iuluti	101
6.3.1	Reconhecimento da Área de Estudo.....	102
6.3.1.1	Mapeamento Geológico de detalhe na Escala 1:9000 e 1:7639	104
7	CONCLUSÕES	109
7.1	Trabalhos futuros.....	110
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS I-CARTA PREVISIONAL DE MOMA ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.		
ANEXO II-ANÁLISES CIPW ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
Figura 1 Localização Geográfica de Moçambique e área de estudo (Adaptado pelo autor). -	18
Figura 2: Mapa de Morrupula-Molocué-Mogovolas. -----	18
Figura 3: Pontos de Amostragem (Iuluti-Chalaua)-----	22
Figura 4: Reconstrução do Gondwana. ANS: Escudo Arábico-Nubiano; EAAO: Orógeno Este Africano-Antártida; M: Madagáscar; Da: Damariano; Z: Cinturão do Zambeze. (GTK Consortium, 2006b).-----	23
Figura 5: Geologia simplificada da sub-Província de Nampula (CGS, 2006).-----	27
Figura 6: Mapa da tectónica regional do Sudeste de África, localizando o Cinturão de Moçambique. Mapa adaptado de (Hanson, 2003 em Cronwright, 2005). -----	29
Figura 7: Esquema da geologia de Iuluti e Chalaua. -----	30
Figura 8:a-b.Laterites na abertura de um dos poços da Licença 3892 (Maraca) e a segunda imagem de blocos de laterites na Licença 4030 (Nanhumane). -----	31
Figura 9:a-b. A esquerda esta representado um afloramento de um inselberg granodiorito o equigranular (CGS), e a direita um poço de Maraca, mostrando a sedimentação desta região em volta dos inselbergs. -----	32
Figura 10: Sala de Microscopia ótica II da FCUP. -----	35
Figura 11: Serra do Laboratório de Geociências em Aveiro para amostras de rocha maiores.	36
Figura 12: Serra para obter menores dimensões da amostra. -----	36
Figura 13: Máquina de Polimento. -----	37
Figura 14: Granitoides em Mogovolas. -----	38
Figura 15: Conjunto de imagens desde a colheita da amostra G-13 até à microscopia, com vista polarizada (A3) temos uma textura equigranular média hipidiomorfica em granitoide, apresentando grãos de hábitos poligonais, e grãos de quartzo, feldspatos potássicos (microclina). Na imagem A6 representando a microclina, no centro albite. -	39
Figura 16: Lamina G-13 em Luz Polarizada, microfografia de maclamento tartan em microclina. O espécime é visto através de um microscópio com polarizadores cruzados. A secção da fotografia é aproximadamente paralela a (001). As leis de macla representada são albite com macla e plano de composição (010) e periclínio com direcção de eixo (010). -----	40
Figura 17: Projecção dos campos de estabilidade de feldspatos de alta temperatura (a) e baixa temperatura (b) em diagramas ternários Ab-An-Or (Deer, et al., 1966). -----	41

Figura 18: Um mosaico com representações do anfíbolito <i>in situ</i> (B1), depois em lâminas (B2), e por final em microfotografias (B3 a B6). A mudança de verde para azul, caracteriza a transição da serie Actinolite-Horneblenda segundo Williams et al., (1970).	43
Figura 19: Um mosaico com representações do granitoide C1 amostra e a lâmina C2.	46
Figura 20: Macroscopicamente a amostra D1 pegmatitos anactéticos, que no geral, quase não contém minerais raros, tendo uma composição meramente granítica, isto, com feldspato e quartzo e micas. Na microfotografia D3 tem a textura equigranular, e cristais com hábitos hexagonais, grãos de horneblenda, biotite, clorite, quartzo, e feldspatos. Em nicóis cruzados D5, observa-se uma transformação comum da biotite (castanho) a substituição da clorite (verde), sem que haja mudança de forma, onde a biotite foi substituída a cor tomou a tonalidade verde clara da clorite, onde existe a biotite preservada a cor marrom ainda é preservada, diz se que a clorite pseudomorfisa a biotite ou que houve uma substituição sintática. E na D6 em nicóis paralelos a clorite apresenta a cor da 1ª ordem (marrom) enquanto a biotite a cor da 3ª ordem (amarelo e verdes claros).	48
Figura 21: Microfotografia da lâmina 4030, observando-se nitidamente as granadas vermelhas.	49
Figura 22: Microfotografias da lâmina M-14, colhida em um aplito pegmatito, composto por feldspatos, micas, quartzos e horneblendas.	50
Figura 23: Diagrama multicatiônico R1 - R2, de classificação química de rochas vulcânicas, de De La Roche et al. (1980);	57
Figura 24: Diagrama TAS (1979) (total de álcalis versus SiO ₂), para a classificação das rochas plutônicas.	57
Figura 25: Diagrama de classificação química de rochas plutônicas, de De La Roche et al. (1980).	58
Figura 26: Diagrama de proporção molar (Na-K-Al), amostra 4029 (Metaluminosa), G-13 e N-01 (Paraluminosa).	58
Figura 27: Classificação química dos granitoides, de acordo com Debon e Lefort (1983).	59
Figura 28: Diagrama R1 (R1= 4Si - 11 (Na+K) - 2 (Fe+Ti)) vs. R2 (R2 = 6Ca+2Mg+Al) de Batchelor e Bowden (1985).	60
Figura 29: Diagrama de REE elaborado por Cond-Sun & Mc Donald (1989) e diagrama de Taylor & Mc Lennan (1981) diagrama multi-elementos de elementos incompatíveis para os granitoides, e das rochas básicas (anfíbolitos). Elementos normalizados em relação ao manto primitivo.	61

Figura 30: Espectro extraído do X Powder, difratograma com as variedades das anfíbolas identificadas no DRX, da amostra 4029 -----	63
Figura 31: Difratograma da amostra 4029-----	64
Figura 32: Extraída do X Powder, difratograma com as variedades das anfíbolas identificadas no DRX, amostra Na-01 -----	66
Figura 33: Difratograma da amostra NA-01 -----	66
Figura 34: Extraída do X Powder, difratograma com as variedades das anfíbolas identificadas no DRX, amostra G-13-----	67
Figura 35: Difratograma da amostra G-13 -----	68
Figura 36: Localização das análises de microsonda eletrónica efetuadas às granadas da amostra 40-30, mostrando um grau de evolução grande, mas ainda longe do de Pegmatito de Quintos (adaptado de Moretz et al., 2013).-----	74
Figura 37: Critérios de tratamento de dados: litológicos e proximidade a anticlinais.(Pelo autor).-----	80
Figura 38: Mapa de preditividade da região, utilizando os critérios 1 e 2. (Pelo autor). -----	81
Figura 39: Bloco-diagrama representando a estruturação interna básica dos corpos pegmatíticos zonados e a relação entre as zonas (modificado de Gandini 1999). 87	
Figura 40: Estrutura interna dos pegmatitos da Zambézia (Barros et al., 1963), característica dos pegmatitos do Norte de Moçambique. -----	91
Figura 41: Representação esquemática da zonação de um campo pegmatítico do tipo LCT. Adaptado de Černý (1991).-----	97
Figura 42: Pegmatito potássico zonal, em Mogovolas.-----	98
Figura 43: Ocorrência de Pegmatitos com Turmalinas pretas em Mogovolas. -----	99
Figura 44: Turmalina Paraíba. Fonte: Pessoa (2013). -----	100
Figura 45: planta de processamento da Empresa Quintos Mineração, instalada no posto administrativo de Iululi-Mogovolas-----	101
Figura 46: Blocos de granitoides a sudeste da licença 4030-----	102
Figura 47: Mapa de detalhe elaborado na altura de recolha das amostras na licença 4029 ---	105
Figura 48: Mapa de detalhe elaborado na altura de recolha das amostras na licença 3892. --	106
Figura 49: Depósitos eluviais, no distrito de Mogovolas -----	107
Figura 50: Carta Previsional de Moma (Somando os quatro critérios no projecto: Geologia com pegmatitos, distancia 1Km ao contacto (a media está a 700m e o desvio padrão é 1Km), distancia 5km às falhas, distancia 2km aos anticlinais. -----	Erro! Marcador não definido.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela	Pagina
Tabela 1 Concessão mineira da Empresa Quintos Mineração Lda. Adaptado pelo autor.....	19
Tabela 2: Coordenadas de alguns pontos de amostragem, M14, localizada na Licença 40/29 (Nanhumane), G13 licença 40/29, e 4030 (Nanhumane).	22
Tabela 3: Propriedades mineralógicas e cristalográficas de anfíbolos (Velho (2005); Klein & Dutrow (2012)).	45
Tabela 4: Agrupamento das Granadas, divisão em series e em iões (Adaptado de Klein & Dutrow, 2012).	47
Tabela 5: Cor in situ em lâminas, controladas pelas proporções Fe+2, Fe+3, Mn+2, Cr+3 (Adaptado por Velho, 2005).	49
Tabela 6: Composição química média em elementos maiores, em % peso, das amostras recolhidas em Mogovolas-Nampula. Fluorescência de Raios X, (Geociências Aveiro)..	55
Tabela 7: Composição química média em elementos menores e vestigiais, em ppm, das amostras recolhidas em Mogovolas-Nampula. Fluorescência de Raios X, (Geociências Aveiro). Elementos quantificados nos maioritários.	56
Tabela 8: Aspectos difratométricos da amostra 4029.	64
Tabela 9: Propriedades cristalográficas e físicas da série actinolite-horneblenda.	65
Tabela 10: Aspectos difratométricos da amostra Na-01.	67
Tabela 11: Aspectos difratométricos da amostra G-13.	68
Tabela 12: Distâncias inter-reticulares de diferentes planos de reflexão dos feldspatos	71
Tabela 13: Resumo Petrográfico e Mineralógico das Amostras	73
Tabela 14: Várias definições do termo pegmatito de acordo com diversos autores (César- Mendes 1994, Marciano 1995, Gandini 1999) adaptado por Carvalho 2004.	85
Tabela 15: Classificação e características morfológicas e económicas dos pegmatitos, segundo N.Solodov (1959)	94
Tabela 16: Classificação dos pegmatitos abissal com Moscovite, REE, e tipos Miarolíticos (Černý, 1991).	95
Tabela 17: Classificação dos pegmatitos de classe de REE (Černý, 1991).	96
Tabela 18: Textura dos pegmatitos na região de Iuluti (Mogovolas).	103
Tabela 19: Altimetria de alguns poços e escavações da área de estudo	106
Tabela 20: Resultado do cálculo da norma C.I.P.W. para as amostras do G-13, NA-01 e 4029.	Erro! Marcador não definido.

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

CGS- Conselho de Geociências Sul-africano

C.I.P.W-Cross, Iddings, Pirsson e Washignton.

DRX- Difração de Raios X.

EQM- Empresa Quintos Mineração

Et al- Et alii (e os outros).

ETC- Et cetera (e o resto).

ETRP- Elementos de Terras Raras Pesadas

ETRL- Elementos de Terras Raras Leves

FCUP- Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

GTK- The Geological Survey of Finland

LCT- Lítio, cézio e tântalo.

LPP- Luz Plana Polarizada

NA- Nanhumane

NGU- Norges geologiske undersøkelse (Geological Survey).

NYF- Nióbio, ítrio e fluor.

PNM- Pegmatitos do Norte de Moçambique

SIG- Sistemas de Informação Geográfica

CAPÍTULO I

Introdução

1 Introdução

Os afloramentos dos pegmatitos localizados na província de Nampula têm sido pouco considerados, talvez nem citados em bibliografias científicas relacionadas com a geologia económica de Moçambique, comparada com os trabalhos científicos publicados da província da Zambézia, região de Alto Ligonha, reconhecida internacionalmente como seleiro de gemas.

O estudo do subsolo moçambicano já vem dos tempos do reino de Monomotapa. As diversas descobertas arqueológicas que se fizeram em território do antigo Imperio de Monomotapa, durante o primeiro período Chona (1325-1600), provam-nos que os povos que o constituíam tinham uma técnica muito avançada de prospeção dos metais. Não só apanhavam ouro, a prata, o cobre e outros metais que se encontravam na superfície, mas também cavavam minas à procura de filões (Afonso, 1978).

Um dos objetivos primordiais do estudo de rochas, qualquer que seja a sua natureza, é determinar e perceber os processos responsáveis pela sua génese e pelas características que exibem. Muitos autores consideram pegmatito, uma rocha ígnea ou metassomática, normalmente granitoide, que ocorre em veios ou diques ou ainda em massas de contactos irregulares, e com minerais que tendem a ocorrer com grande tamanho, centimétrico a decimétrico, apresentando assim uma textura típica, que é a textura pegmatítica.

A maioria dos estudos geológicos e mineralógicos dos pegmatitos de Moçambique, encontrados na base de dados da mindat.org, foram dezenas de artigos dedicados ao distrito de Alto Ligonha. Esses são comprovadamente ricos em minerais raros, destacando-se a concessão de licenças de exploração em vigor desde o passado colonial até ao presente, para a exploração de tantalite e berilo no distrito de Gilé, na localidade de Marropino, Morrua, Muiane e Nahipa, e algumas gemas no distrito de Mocuba, e poucos afloramentos no distrito de Lugela, posto administrativo de Namagoa e Munhamade.

As rochas ígneas sendo produtos da dinâmica interna do planeta, são representantes de regiões diretamente inacessíveis ao Homem, como a crosta inferior e o manto superior, apresentando-se como uma mais-valia para o seu estudo (Costa, 2006). Estão intimamente relacionadas com os movimentos de placas litosféricas e, como tal, podem fornecer importantes dados acerca da

formação e evolução da crosta, e da Terra, ao longo do tempo geológico, até à configuração que atualmente se conhece.

1.1 Apresentação do problema

Os distritos de Mogovolas e Moma são afetados por uma maior actividade de garimpo e contrabando de minerais, que inviabilizam de um certo modo o processo de registo das quantidades de recursos minerais que são anualmente explorados nesta região.

Sendo assim, um registo permanente pode ser efectuado por companhias que estejam a explorar minerais de uma maneira legal o que pode de um certo modo avaliar as potencialidades de depósitos que ocorrem nesta região tornando mais fácil o controlo da exploração dos mesmos.

Esta região carece de estudos detalhados, havendo uma publicação das cartas de Alto Molocué, Morrupula, e Nampula, facilitando a percepção da geologia da área em estudo, portanto deve-se fazer um trabalho de detalhe, sobretudo muito mapeamento, que de um certo modo influirá bastante no estudo de outros corpos pegmatíticos ainda não estudados e não explorados que ocorrem nesta região. (Figura 2).

Na área de estudo ocorrem três corpos pegmatíticos: Maraca, Mavuco e Nanhumane. Sendo importantes economicamente principalmente pela ocorrência de turmalinas, associados a depósitos coluvião e eluvião, em dois níveis de cascalho, sendo o primeiro com 2-3 m de profundidade, com seixos arredondados, com média inferior a 40 mm, enquanto o segundo nível, que está a 6 m de profundidade, apresenta seixos maiores não classificados e pouco arredondados.

Nessa área o mapeamento de detalhe mostrou a existência de pegmatitos, que são objeto de pesquisa atual. Esses pegmatitos são produtos do evento Neoproterozoico, associados às rochas graníticas. Apesar da inexistência dos estudos realizados na área de estudo, o trabalho é correlacionado com os trabalhos pertencentes a parte Sudoeste de Nampula, ou seja a Zambézia, por se tratar de um prolongamento geológico do grupo de Alto Molocué, Mocuba, Lúrio e Nampula, tendo mineralogia, petrologia, geoquímica e geocronologia similares.

1.2 Objetivos do Trabalho

O objetivo geral deste trabalho é de fazer a prospeção geológica dos pegmatitos na Província de Nampula, distritos de Mogovolas e Moma considerando a possível predictividade. Para a sua concretização definiram-se os seguintes objetivos principais:

- Reconhecimento, com base na geologia da região, e caracterização *in situ* dos tipos de rochas intrusivas selecionadas, e amostragem representativa de cada uma delas;
- Estudo petrográfico abrangente das amostras recolhidas. O estudo macroscópico e microscópico permite a descrição mineralógica, e possivelmente estabelecer a sequência de cristalização dos diferentes minerais.
- Análise geológica sobre a cartografia geológica existente na base de dados de geologia de Moçambique, introduzida num Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde com uma componente guiada pelos dados e pelo conhecimento (“Data Driven e Knowledge Driven”) pode ser criado um mapa preliminar básico preditivo que simboliza os futuros locais onde realizar os trabalhos de prospeção de pormenor.
- Análise mineralógica a partir de Difração de Raio X e Fluorescência de Raios X, do pó de amostras selecionadas, para determinar a composição mineralógica, assegurando que as partículas cristalinas estejam com orientações completamente aleatórias, e qualificando a composição química total das rochas.
- Estudo dos pegmatitos de Mogovolas-Moma, conceitos, modelos de evolução e sistemática de pesquisa.

1.3 Metodologias usadas

Para o desenvolvimento do trabalho, foram usados métodos de gabinete, de campo, e laboratoriais, e por fim a interpretação de dados também em gabinete. O trabalho de gabinete iniciado por recolha de dados bibliográficos, sobretudo expressos em relatórios inéditos e trabalhos de cartografia regional, geologia da região, e cartografia digital, com base no software ArcGIS 10.0.

O trabalho de campo envolveu o reconhecimento geológico com base nos documentos referidos, alguns levantamentos locais e amostragem de rochas e minerais. No que concerne ao método laboratorial, foi usado o microscópio de luz de transmissão em todas as amostras, e luz polarizada para observar a amostra total, e a difração e fluorescência de raios X em três amostras (NA-01, 4029, e G-13). A microsonda para analisar o tipo de granadas na amostra (40-30). O resultado foi interpretado no software Xpowder, a partir de dados de DRX em ficheiros em formato RD, e dados de fluorescência em software Petrograph da Universidade de Perugia Itália, e no software GCDkit. No final foi analisado e discutido os dados novamente no gabinete, para se chegar às conclusões que se encontram no final do trabalho.

1.4 Estrutura do trabalho

O desenvolvimento do presente trabalho de pesquisa está organizado em sete (7) capítulos:

Capítulo 1: Introdução

Capítulo 2: Enquadramento geral da área de estudo

Neste capítulo é abordado o enquadramento da área de estudo, características físicas geográficas da região, geologia de Moçambique, e da área de estudo em pormenor, bem como a descrição e caracterização das unidades observáveis no campo.

Capítulo 3: Petrografia

Neste capítulo são estudados os anfibolitos e basaltos, e os granitoides que ocorrem na área de estudo. E depois uma análise das amostras em microscópio colhidas na área de estudo.

Capítulo 4: Geoquímica da rocha e mineral

Este capítulo faz uma análise qualitativa e quantitativa descritiva dos pegmatitos, estudando a sua mineralogia baseando-se nos resultados das análises por fluorescência de raios X e difração de raios X.

Capítulo 5: Seleção de áreas de prospeção com recurso aos SIG

Este capítulo trata dos dados em SIG (preditividade, valoração), uma análise preliminar básica da área de estudo.

Capítulo 6: Pegmatologia (Estudos comparativos dos pegmatitos do Norte de Moçambique).

Neste capítulo, trata-se de um panorama de conceitos, evolução e classificação dos pegmatitos, características e propriedades, indicadores de bolsadas, com base em estudos científicos publicados, incorporando as etapas de reconhecimento dos pegmatitos na região e faz se uma síntese com base nos capítulos anteriores, definindo a génese, e modelo de evolução dos pegmatitos.

Capítulo 7: Conclusões

Síntese das conclusões do trabalho

Referências bibliográficas e os anexos do trabalho.

CAPÍTULO II

Enquadramento geral de Moçambique e da área em estudo.

2 Enquadramento geral de Moçambique

Neste capítulo apresentam-se em síntese, os principais aspetos geográficos de Moçambique, da área de estudo, e traços da geologia de Moçambique, regional e local. Em seguida faz-se a devida descrição das características gerais da área de estudo e os dados de campo obtidos durante o período de estágio na empresa Quintos Mineração, sediada na cidade de Nampula.

A República de Moçambique fica situada no Hemisfério Sul entre os paralelos 10° 27' Sul e 26° 52' Sul. Ela pertence também ao Hemisfério Oriental entre os meridianos de 30° 12' Este e 40° 51' Este. O seu território enquadra-se no fuso horário 2 (dois), possuindo assim duas horas de avanço relativamente ao Tempo Médio Universal, tal como uma parte dos países da Europa Setentrional e Oriental (Muchangos, 1999). (Figura 1).

2.1 Enquadramento da área de estudo

A área de estudo é uma porção de Moçambique Setentrional, onde abrange toda a área compreendida entre o rio Rovuma, ao Norte, e bacia do rio Zambeze ao Sul, sensivelmente nas imediações do paralelo de 18° Sul, incluindo a parte oriental da província de Tete. De uma maneira geral esta região apresenta características comuns às de toda África Oriental nomeadamente as que se referem às variedades das formas superficiais e à origem das paisagens (Muchangos, 1999).

2.2 Aspetos físicos da área de estudo

A recolha de dados do trabalho foi realizado na província de Nampula, nos distritos de Mogovolas, posto administrativo de Nametil e Iuluti, concretamente na localidade de Maraca, e uma ínfima parte na bordadura de Moma, na localidade de Mavuco, e bairro de Nanhumane, onde encontram-se três concessões mineiras pertencentes a Empresa Quintos Mineração, na qual foi realizado o estágio.

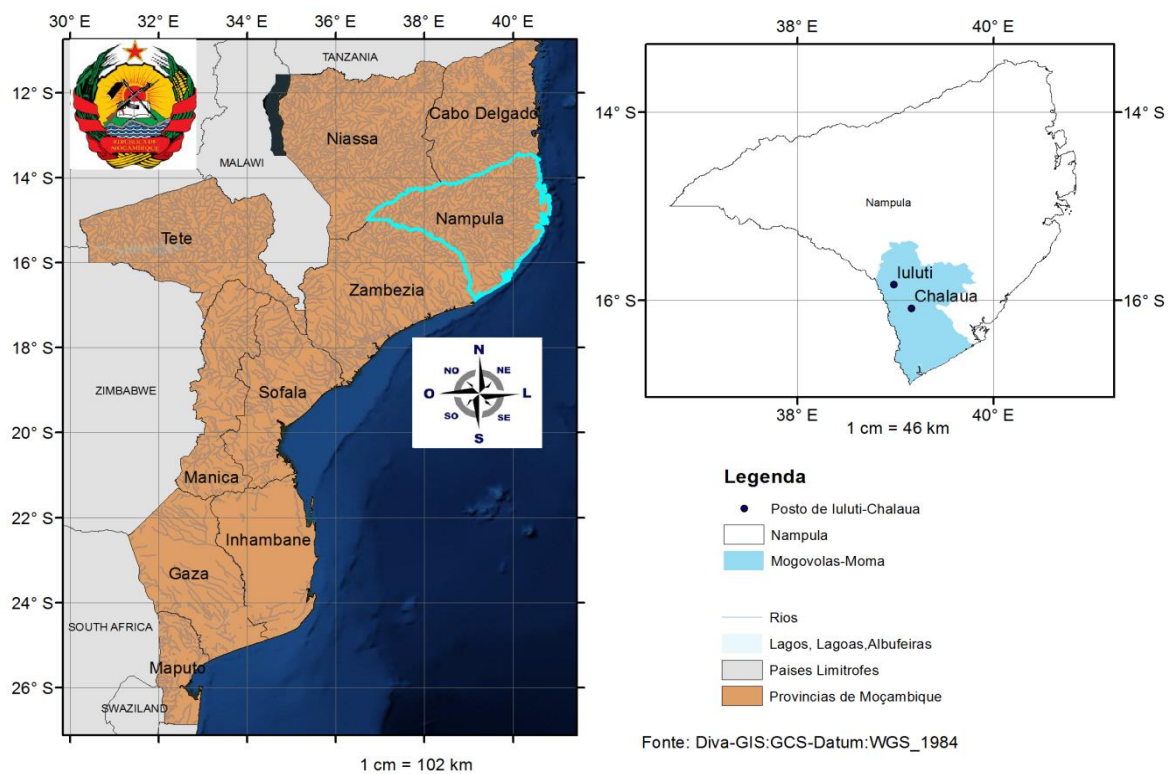


Figura 1 Localização Geográfica de Moçambique e área de estudo (Adaptado pelo autor).

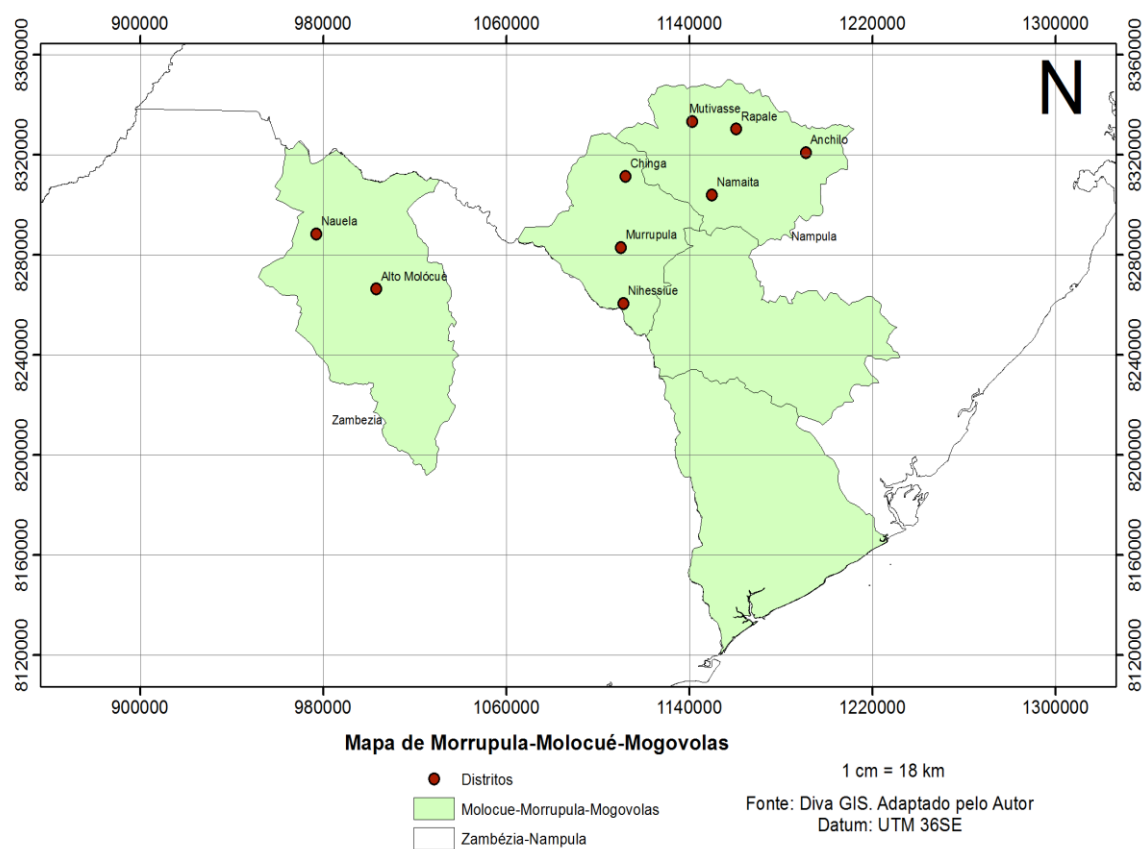


Figura 2: Mapa de Morrupula-Molocuê-Mogovolas.

A tabela abaixo indica as concessões pertencentes a empresa Quintos Mineração Lda.

Tabela 1 Concessão mineira da Empresa Quintos Mineração Lda. Adaptado pelo autor

Licença	Área (Ha)	Recursos abrangidos	Titular	Executor da pesquisa
3892 (MC)	240	Água marinha, quartzo e turmalinas	OM	Q.M.Lda.
4030 (MV)	1130,32	Pedras preciosas e semi preciosas	PPI, CS	Q.M.Lda.
4029 (NM)	280	Pedras preciosas e semi preciosas	PPI, CS	Q.M.Lda.

(1ha=10.000m²).

2.2.1 Localização do distrito de Mogovolas¹

O distrito de Mogovolas está localizado na parte sul da Província de Nampula, confinado a Norte com os distritos de Meconta e Nampula, a Sul com os distritos de Angoxe e Moma a Este com o distrito de Mongincual e a Oeste com os distritos de Morrupula e Gilé, este último da província da Zambézia.

Com uma superfície de 4748 km² e uma população estimada em 218812 habitantes, tendo uma densidade populacional de 46 hab/km². A relação de dependência económica potencial é de aproximadamente 1:13, isto é, por cada 10 crianças ou anciões existem 13 pessoas em idade activa. A população é jovem (41%, abaixo dos 15 anos de idade) maioritariamente feminina (taxa de masculinidade de 49%) e de matriz rural (taxa de urbanização de 4%).

2.2.1.1 Clima e Hidrografia

A maior parte da região apresenta temperaturas médias anuais superiores a 24°C. A temperatura elevada agrava consideravelmente as condições de fraca precipitação provocando deficiências de água. Climaticamente a região é dominada por climas do tipo semiárido e sub-húmido seco. A precipitação média anual varia de 800 a 1200 mm, enquanto a evapotranspiração potencial de referência, está entre os 1300 e 1500 mm.

O distrito é atravessado pelos seguintes rios:

- Rio Meluli, tendo como afluentes os rios Mutacazi e Murririmué;
- Rio Nahá, tendo como afluente o rio Murririmué;

¹ Perfil do distrito de Mogovolas.

- Rio Pitamacanha, tendo como afluentes os rios Nathere e Maculane;
- Rio Murririmué, tendo como afluentes os rios Nambomoto, Macassa e Napalavi;
- Rio Mutacaze.

Os rios existentes são todos de regime periódico, com exceção do Meluli que pode conservar água durante quase todo o ano. Nas proximidades de Nametil-Sede por onde este rio passa foi construída uma barragem que pode ter importância estratégica no futuro para o abastecimento de água à Vila e periferias.

2.2.1.2 Relevo e solos

As altitudes estão compreendidas entre os 200 e 500 metros, de relevo ondulado, interrompido em algumas vezes pelas formações rochosas dos Inselbergs. Fisiograficamente a área é constituída por uma zona planáltica baixa que, gradualmente passa para um relevo mais dissecado com encostas mais declivosas intermédias, da zona sub planáltica de transição para a zona litoral.

2.2.2 Localização distrito de Moma²

Localiza-se na parte Sul da Província de Nampula, confinado a Norte com o distrito de Mogovolas, a Sul com o Oceano Indico, a Este com o distrito de Angoxe e a Oeste com os distritos de Pebane e Gilé da Zambézia. Com uma superfície de 5752 km² e uma população estimada em 286552 habitantes, o distrito tem uma densidade populacional de 49,8 hab/km².

A relação de dependência económica potencial é de aproximadamente 1:1.1, isto é, por cada 10 crianças ou anciões existem 11 pessoas em idade ativa. A população é jovem (46%, abaixo dos 15 anos de idade), a taxa de masculinidade teria de ser inferior a 50% para ser maioritariamente feminina e de matriz rural (taxa de urbanização de 7%).

2.2.2.1 Clima, relevo e solos

A região compreendida pela faixa costeira apresenta um clima do tipo sub húmido seco, onde a precipitação média anual varia entre 800 e 1000 mm (Mossuril) e, a temperatura média durante o período de crescimento das culturas excede os 25°C (24 a 26°C). A evapotranspiração potencial é da ordem dos 1400 a 1600 mm. As planícies costeiras na região são dissecadas por alguns rios que sobem da costa para o interior, gradualmente passando para

² Perfil do distrito de Moma.

um relevo mais dissecado com encostas de declividade intermédia, da zona sub planáltica de transição para a zona litoral. Esta zona corresponde à área costeira da Província.

Caracteriza-se pelos seus solos arenosos, lavados a moderadamente lavados, predominantemente amarelos a castanhos acinzentados, quer sejam os da cobertura arenosa do interior (solos ferra líticos arenosos), quer seja os das dunas arenosas costeiras, e ainda pelos solos da faixa do grés costeiro, de textura arenosa a fraca argilo arenosa de cor alaranjada. Os solos arenosos hidromorficos de depressões e baixas ocorrem alternados com as partes de terreno mais elevado (Gleyic arenosols).

2.3 Localização Geográfica dos Pontos de amostragem

Os Campos Pegmatíticos localizam-se no distrito de Mogovolas e Moma, província de Nampula, na região setentrional de Moçambique. Foram objeto de investigação, os fulcros situados na margem Leste do rio Ligonha, designadamente, Maraca (Posto Administrativo de Iuluti-Mogovolas), Nanhumane a noroeste de Mogovolas e próximo de Meconta e Mavuco (considerado o terceiro lugar no mundo para a ocorrência da gema elbaite com cobre, ou seja, a turmalina “Paraíba”).

O depósito de turmalina Paraíba está localizado perto da fronteira oriental do distrito de pegmatitos de Alto Ligonha, ao lado da aldeia de Mavuco. (Tabela 2). Uma área de cerca de 3 km² onde é extraída a turmalina, hospedado exclusivamente por depósitos secundários do tipo Paleo-Placeres, em profundidades de 5 metros (Figura 3).

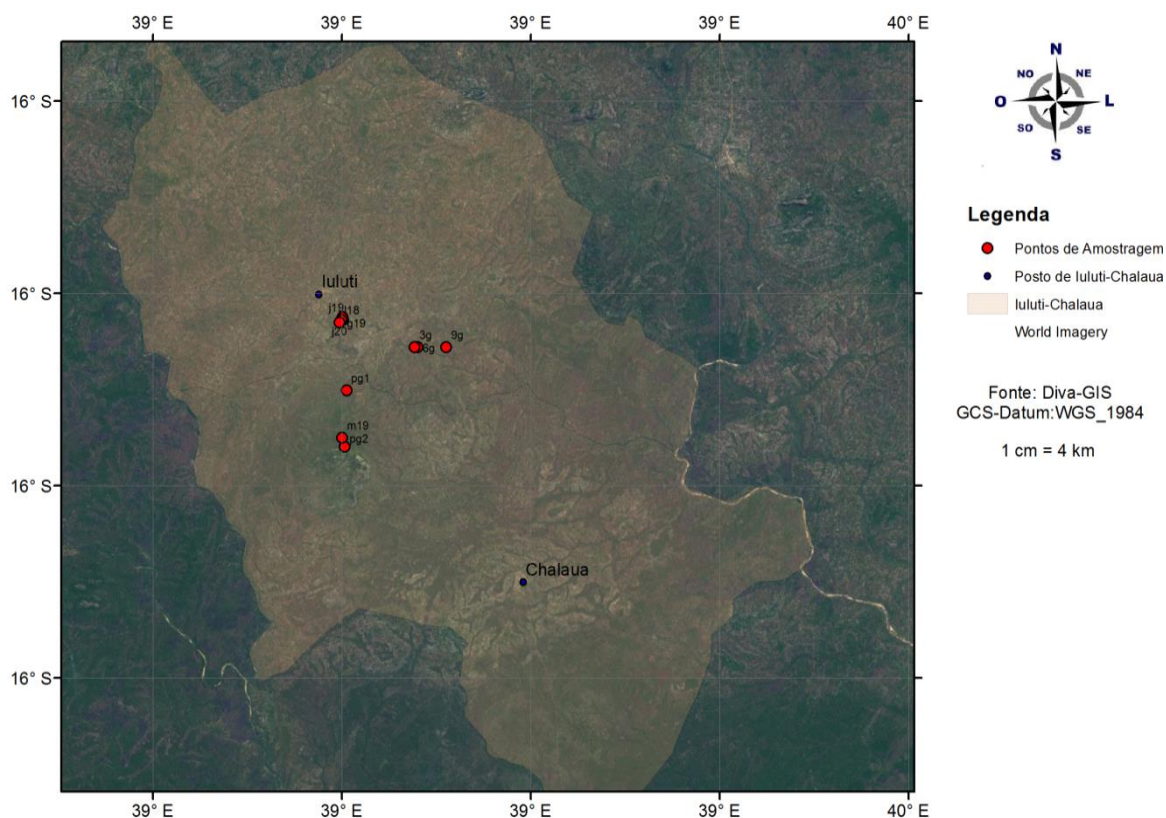


Figura 3: Pontos de Amostragem (Iuluti-Chalaua)

Tabela 2: Coordenadas de alguns pontos de amostragem, M14, localizada na Licença 40/29 (Nanhumane), G13 licença 40/29, e 4030 (Nanhumane).

	Latitude	Longitude	Licenças
M14	-15,5730	38,5748	4029
G13	-15,9542	38,9958	4029
4030	-15,5715	38,5958	4030
4029	-15,5740	39,0026	4029
NA-01	-15,5723	38,5950	4029

2.4 Geologia de Moçambique

A geologia de Moçambique, é similar a toda geologia africana em geral, ou seja é composta por um conjunto de cratões e cinturões móveis de idade arcaica, unidos por cinturões dobrados alongados de idade proterozoico-câmbrica cobertos por sedimentos indeformados e rochas extrusivas associadas, de idades neo-mesoproterozoica, carbónica tardia a jurássica inicial e cretácico quaternária (GTK Consortium, 2006a).

A geologia de Moçambique é caracterizada pela ocorrência de um soco cristalino com idade arcaica-câmbrica e por rochas com idade fanerozoica. O soco cristalino é constituído por paragneisses supra crustais metamorfizados, granulitos e migmatitos, ortogneisses e rochas ígneas. Do ponto de vista geodinâmico, o soco cristalino de Moçambique é composto por três terrenos diferentes, que colidiram e se juntaram durante o Ciclo Orogénico Pan-Africano (COPA). Anteriormente à união Pan-Africana, cada terreno possuía um desenvolvimento geodinâmico individual e específico. Na Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique volume 4, estes terrenos são designados provisoriamente por Terreno do Gondwana Este, Terreno do Gondwana Oeste e Terreno do Gondwana Sul (GTK Consortium, 2006a) (Figura 4).

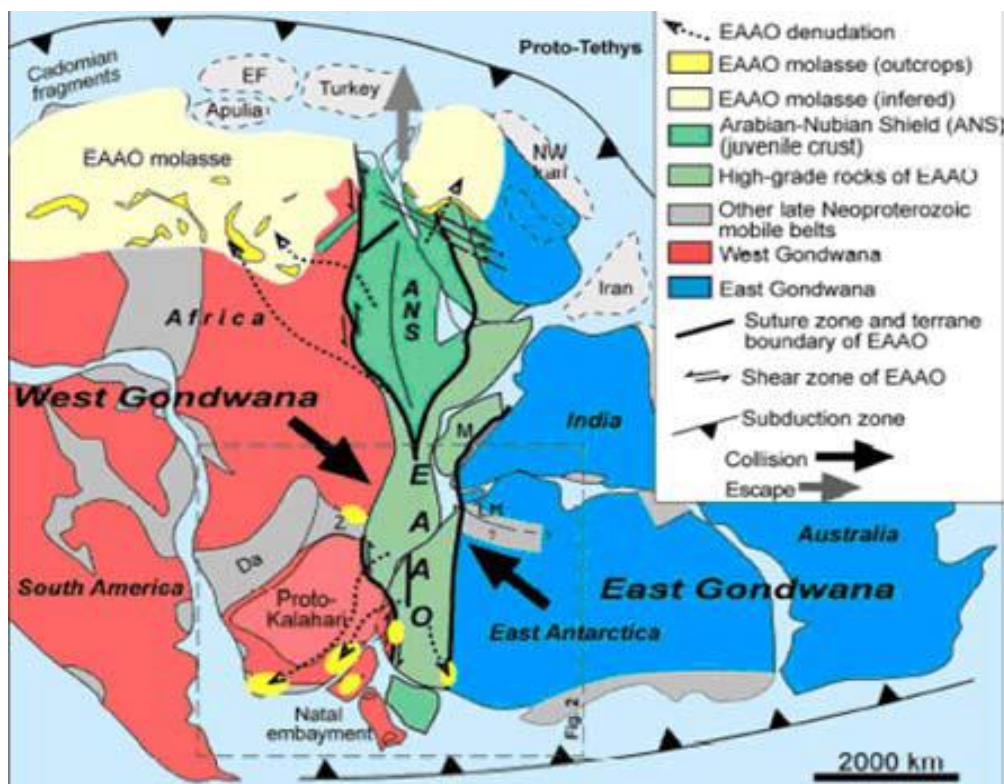


Figura 4: Reconstrução do Gondwana. ANS: Escudo Árabe-Nubiano; EAAO: Orógeno Este Africano-Antártida; M: Madagáscar; Da: Damariano; Z: Cinturão do Zambeze. (GTK Consortium, 2006b).

As formações geológicas de Moçambique podem dividir-se em duas grandes unidades: rochas metamórficas de idade pré-câmbrica, que ocupam cerca de 2/3 do território e rochas sedimentares. Do ponto de vista mineralogénico interessa ainda distinguir entre estas últimas as formações geológicas sedimentares pós jurássicas de bordadura, de origem predominantemente continental, e as rochas vulcânicas sedimentares do Karroo, incluindo as do mesozoico normalmente designadas por pós Karroo. (Afonso & Marques, 1993). Esquemáticamente, temos:

- Pré-câmbrico, constituído por rochas metamórficas com mais de 600 milhões de anos (cobrindo as províncias de Cabo Delgado, Niassa, Nampula, e Tete, Manica e Sofala).

Tendo um fundo constituído por rochas gnaissicas, migmatíticas e granitoides de diversos tipos, no qual, de forma mais ou menos dispersa, se distribuem faixas de metassedimentos em regra intensamente dobrados e com alinhamentos mais ou menos definidos, e por rochas ígneas de todos os tipos que ocorrem em maciços e filões.

- Karroo (Mesozóico), constituído por rochas sedimentares e vulcânicas formadas no período que medeia entre 350 M.a e 70 M.a. contornando as formações Pré-câmblicas. A longo do seu contacto com as bacias sedimentares costeiras existe uma faixa de largura variável de rochas extrusivas (riólitos, basaltos), por vezes com intercalações gresosas e tufos, pertencentes ao Karroo e, dentro deste, quase exclusivamente pertencentes à serie superior de Stormberg (desde a fronteira sul de Moçambique até ao rio Zambeze, e da parte norte até ao Rovuma).

Em zonas de depressões tectónicas do interior as rochas pré-câmblicas estão por vezes recobertas por formações Karroo, representadas por séries sedimentares inferiores: Dwika (tilitos), Eccá (xistos carbonosos e argilitos) e Beaufort (grés e xistos), pela sua extensão sendo desde Maniamba e os da bacia do curso médio do Zambeze.

- Formações sedimentares de bordadura (Pós Jurássicas), um terço do território de Moçambique esta coberto por rochas sedimentares das quais talvez mais de 80% são sedimentos quaternários.

Tendo maior desenvolvimento nas bacias hidrográficas do Limpopo, Save e Zambeze, limitando-se a uma estreita faixa litoral entre Pebane e Quelimane e alargando-se novamente ao rio Rovuma.

2.4.1 Geologia da região Norte de Moçambique

Geologicamente a área de estudo é dominada por gnaisses Meso proterozoicos de médio a alto grau de metamorfismo pertencentes ao Complexo de Nampula, retrabalhados durante a orogenia Pan-Africana e instruídos por granitoides e pegmatitos gerados na última fase do Pan-Africano (Paleozóico inferior). (CGS, 2006) (Figura 5).

Estas rochas fazem parte do Complexo de Nampula que é uma subdivisão tectono-estratigráfica do Cinturão Orogénico de Moçambique (*Mozambique Belt*) que se situa a Sudeste do Cinturão Granulítico do Lúrio (*Lúrio Belt*) com direção WSW – ENE. (CGS, 2006).

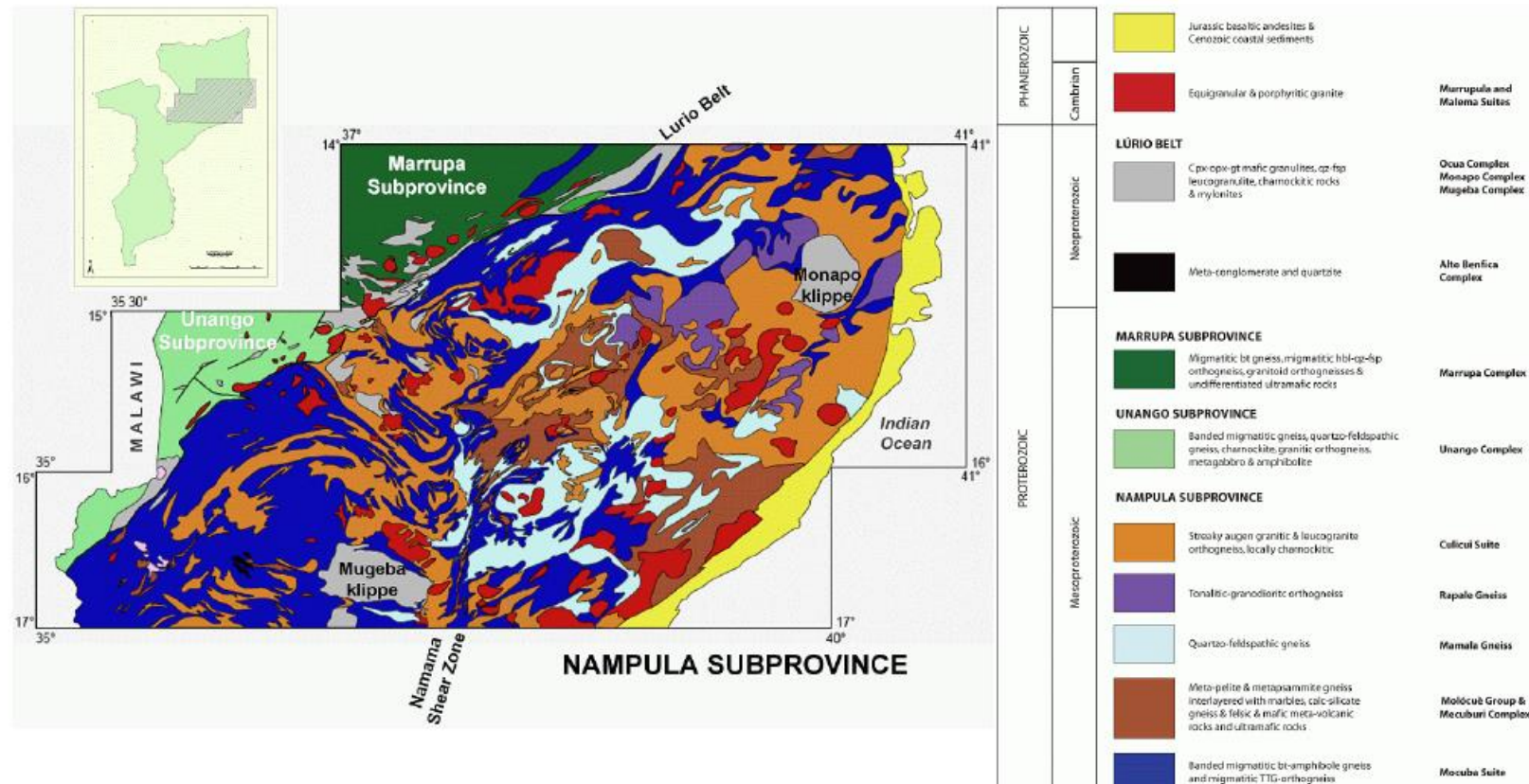


Figura 5: Geologia simplificada da sub-Província de Nampula (CGS, 2006).

A sub-Província de Nampula, situa-se a norte de paralelo 18° S e para leste do meridiano 36° E. Dentro desta província evidencia-se a existência de 2 grandes conjuntos litológicos, petrográficos e estruturais. São eles o Grupo de Nampula e o Grupo de Lúrio. Os pegmatitos localizados em Mogovolas e Moma estão concentrados no Complexo de Nampula, localizados no Sul do Cinturão de Moçambique (Afonso, 1978).

O Complexo de Nampula está limitado a Norte pelo Cinturão do Lúrio e o limite Sul é tomado onde este desaparece por baixo da cobertura Fanerozoica. O limite Este é marcado pela linha de costa Moçambicana e o limite Oeste está a Oeste dos cumes dos granulitos da zona de Namarroi (Cronwright, 2005).

2.4.1.1 Geologia de Iuluti-Chalaua

A Zona de Iuluti-Chalaua localiza-se na parte Oeste e Central da província de Nampula. O Cinturão do Norte de Moçambique compreende material Mesoproterozoico e Neoproterozoico retrabalhado durante a orogenia Pan-Africana (Cronwright, 2005) e representa a terminação Sul do Cinturão de Moçambique. A região consiste principalmente de metamorfismo de alto grau, gnaisses polideformados que foram cortados por numerosas estruturas Mesoproterozoico a Neoproterozoico (Fig. 7).

A unidade é dividida em duas partes, sendo a primeira parte, englobando o Complexo de Nampula a Sul que é dominada por migmatitos e ortognaisses que hospedam os pegmatitos de metais raros, e a segunda parte que é o Complexo de Marrupa a Norte que compreende gnaisses, gnaisses migmatíticos e gnaisses granulíticos. As duas unidades são separadas pelo Cinturão de Lúrio. (Figura 7). (Cronwright, 2005).

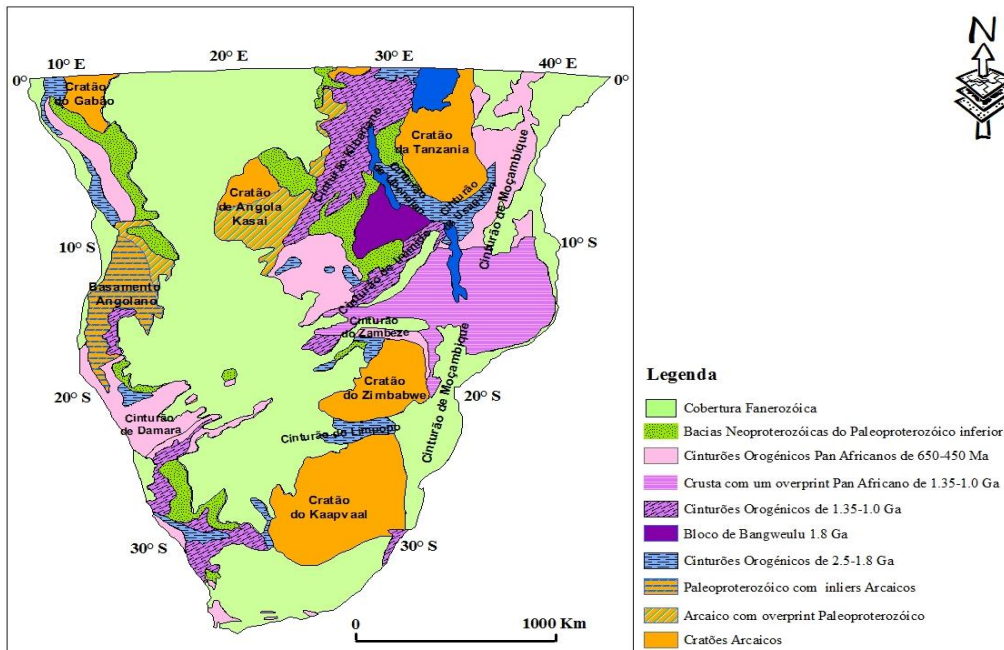


Figura 6: Mapa da tectónica regional do Sudeste de África, localizando o Cinturão de Moçambique. Mapa adaptado de (Hanson, 2003 em Cronwright, 2005).

Na tectónica no Grupo de Nampula salientam-se estruturas curvilíneas com dobras e cuvettes. As dobras são muitas vezes isoclinais com o plano axial inclinando para o sul e sudeste. A direção desordenada dos eixos das dobras pode sem dúvida, explicar-se devido à retomada da velha tectónica WSW-ENE para uma mais recente orientada na direção N-S e NE. O grupo de Nampula apresenta uma migmatização desenvolvida e deriva certamente de um complexo Vulcano-sedimentar rico em grauvaques e em rochas vulcânicas básicas, intermédias, e mais raramente ácidas (Afonso, 1978) (Fig. 6).

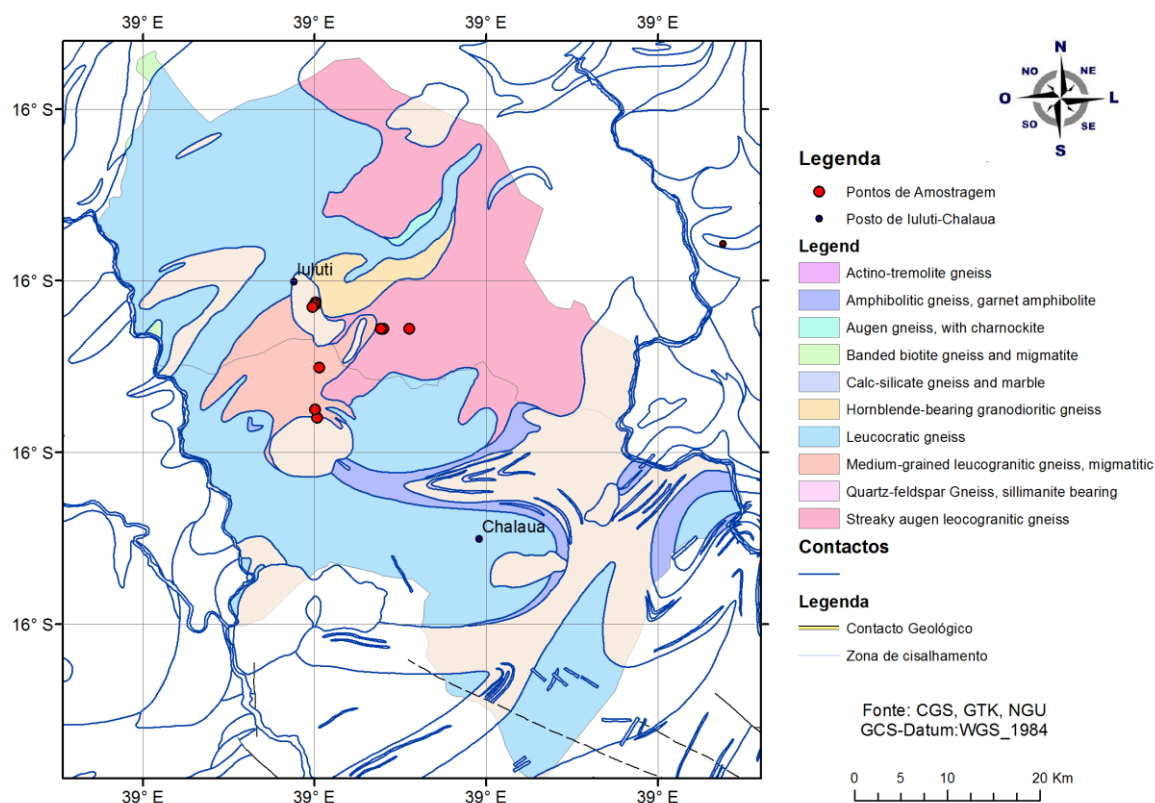


Figura 7: Esquema da geologia de Iuluti e Chalaua.

Adaptado pelo autor. De acordo com a natureza das rochas, ocorrem em terrenos do pré-câmbrio, proterozoico, pertencentes a Província tectónica de Moçambique, com uma base geológica de rochas ígneas do tipo gabros, piroxenitos, e sienitos, e sobrepostas com séries metamórficas abrangidas pelo complexo granito gnaissico, seguidas de uma série metassedimentar, sofrendo processos exógenos. De acordo com a CGS, a região de Iuluti pertence a era meso proterozóica, com idades entre $1058 \pm 9\text{Ma}$ a $1042 \pm 9\text{Ma}$ com dados obtidos por U-Pb SHRIMP (Microssonda).

2.4.1.2 Formações de laterites

Em todos os campos de pegmatitos pertencentes ao distrito de Mogovolas e Moma são observadas ocorrências de blocos e bancos lateríticos duros, tendo uma direção paralela à costa da província de Nampula.

Têm uma cor de castanho avermelhado e vermelho-amarelado, com blocos de espessura de 2-5 cm e outros com 0,5-2 m. Quando feita uma análise macroscópica do material, há muita alteração com grande concentração de hidróxidos de ferro. Portanto CGS (2006) classificam como laterites estas formações com 20-30% de fragmentos de quartzo subangulares ($< 5\text{ mm}$), e fragmentos de feldspato e líticos cimentados por criptocristalino Fe-Al-oxihidróxidos (hematite, goethite), com seixos de cascalhos, vesiculares, com uma textura concrecionaria.

As formações das laterites nessa região são essencialmente de dois tipos: cimentadas e outras soltas. As não cimentadas encontram-se ao longo de declives em direcção ao abaixamento, associados a areais vermelhas, depositadas ao longo das margens dos rios antigos, recentes e um pouco acima deles.

No período geológico terciário as condições climáticas foram do tipo tropical húmido resultando na formação de perfis lateríticos profundos capeados por crostas ferruginosas ou siliciosas (Biond, 1986). A mudança recente do clima tropical para o tipo semi-árido causou o rebaixamento do nível freático e a dissecação dos perfis lateríticos (Figura 8).



Figura 8:a-b.Laterites na abertura de um dos poços da Licença 3892 (Maraca) e a segunda imagem de blocos de laterites na Licença 4030 (Nanhumane).

2.4.1.3 Coluvião

Geomorfologicamente a região é caracterizada pelas superfícies dos cumes e cristas, de origem intrusivo-tectónica e erosivo desnudado, apresentando características morfo estruturais como, os inselbergs graníticos, maciços erosivos-desnudados, relevos graníticos aplanados e em vias de rejuvenescimento (Cumbe, 2007). Portanto as áreas com sedimentos arenosos são transportadas e os solos residuais cobrem as rochas subjacentes.

Os inselbergs (Figura 9a) são caracterizados por rochas convexas, com uma base larga, coberto de líquenes escuros, na base com sedimentos argilosos vermelhos residuais, expostos entre os granitos. As regiões entre os inselbergs são sustentadas por solos residuais e coluvião com características de textura variando de acordo com as rochas subjacentes e circundantes.

Depósitos de areia grossa residuais são comuns em torno de afloramento de granito (Figura 9b) havendo uma distinção clara das areias aluviais, pelas características da textura, cor e

granulação, mas por vezes sendo semelhantes à rocha mãe. Os depósitos nas planícies, que são sustentadas por granitos, granitoides e gnaisses nas suas faixas, são compostos por espessuras de argilas e areia rególito *in situ* coberta por solo arenoso cinza leucocrático de quartzo e feldspato (CGS, 2006).

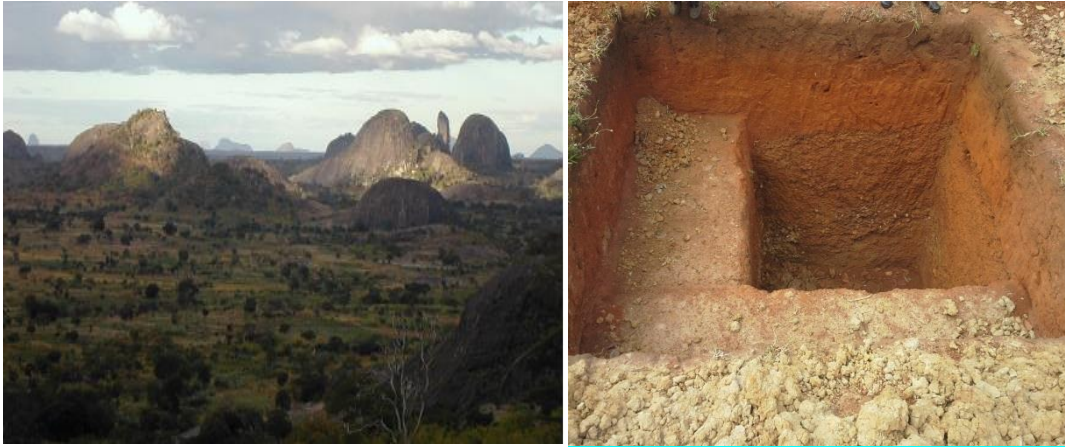


Figura 9:a-b. A esquerda esta representado um afloramento de um inselberg granodiorito o equigranular (CGS), e a direita um poço de Maraca, mostrando a sedimentação desta região em volta dos inselbergs.

CAPÍTULO III

Petrografia

3 Petrografia

Este capítulo foi desenvolvido com base na observação macroscópica dos afloramentos no terreno e com a ajuda da utilização do microscópio petrográfico mais tarde no laboratório, que é um microscópio ótico usado em petrografia e mineralogia ótica, instrumento que tem como finalidade a identificação de rochas e minerais em lâminas delgadas (Figura 10). Existem dois principais tipos de microscópio petrográficos, os de luz de transmissão e de luz refletida, mas em determinados modelos o microscópio pode permitir estas duas possibilidades. Na (Figura 10) está representado o microscópio usado para realização desse capítulo.



Figura 10: Sala de Microscopia ótica II da FCUP.

3.1 Lâminas delgadas

Resultado de uma preparação laboratorial de uma amostra de rocha são as *lâminas delgadas*, utilizadas para a observação com microscópio petrográfico com a luz natural e polarizada, sendo através dela, possível identificar a composição mineralógica, tamanho e formato dos minerais, presença de deformação entre outros, visando a compreensão do ambiente de formação da rocha em estudo.

Elaboração da Lâmina Delegada

- a. As amostras devem possuir uma dimensão apropriada para o manuseamento nos equipamentos utilizados. A amostra de rocha deve possuir uma dimensão aproximada à do tamanho de uma mão fechada. No caso de as amostras possuírem dimensões maiores, terão de ser cortadas numa serra (Figura 11).



Figura 11: Serra do Laboratório de Geociências em Aveiro para amostras de rocha maiores.

- b. Após as amostra possuírem a dimensão desejada (aproximadamente 0,5 cm de espessura), é cortada uma esquirola, utilizando a serra de menores dimensões (Figura 12).



Figura 12: Serra para obter menores dimensões da amostra.

- c. Uma das superfícies da esquirola é polida utilizando o equipamento próprio.
- d. A superfície polida da esquirola vai ser colada sobre uma lâmina de vidro. Este conjunto de esquirola mais a lâmina de vidro vai sofrer um desgaste de modo a reduzir a espessura da amostra.
- e. A amostra é ainda sujeita um desgaste final (juntamente com alguns abrasivos) até se obter uma espessura de lâmina delgada) ou é ainda sujeita a um tratamento final de modo a ficar com a superfície bastante polida (Máquina de Polimento, Figura 13).
- f. Finalmente a preparação pode ser coberta por uma lamela de vidro.



Figura 13: Máquina de Polimento.

3.2 Características Petrográficas de rochas em Iuluti-Chalaua

Os gnaisses granitoides (Figura 14) são rochas de grão fino até mais grosseiro, de cor cinzento claro ou amarelado. Além dos preponderantes feldspatos e do quartzo contêm uma quantidade variável de micas (biotite e moscovite). Por conseguinte são localmente leucocráticos ou biotíticos (Barros, 1983).

Localmente penetram nos gnaisses, gnaisses com porfiroblastos, enquanto noutra parte há injeções do leocossoma de grão fino até médio em forma de cordões e lentilhas de carácter pegmatoide, onde frequentemente prepondera fortemente o quartzo.

Nas imediações destes cordões pegmatoides está um conteúdo elevado de moscovite. Os feldspatos são representados pela ortóclase, pela microclina e pela plagióclase. A ortóclase forma grãos alomórficos de tamanho de 0,1-0,3 mm, turvejados pela sericitização. A microclina são grãos alotriomórficos de 0,1-0,2 mm, com macla em xadrez, suplantando os demais minerais (Barros, 1983).

A plagióclase é representada pela albite-oligoclásio, pouco abundante, grãos hipidiomórficos de tamanho de 0,1 mm. O quartzo é de grão alotriomórfico de tamanho de 0,05-0,01 mm. A estrutura é lepidogranoblastica, a textura é maciça, com indicações superficialmente paralelas. Gnaisses porfiroblásticos, rodeados pelos granitoides de grão fino. Penetram nos gnaisses de grão fino como evidentemente mais jovens, na maioria dos casos ao longo da foliação, mas também obliquamente a esta.



Figura 14: Granitoides em Mogovolas.

Nos gnaisses porfiroblásticos aparecem corpos pegmatíticos de maior tamanho, curtamente lenticulares e irregulares comparados com abundantes pequenas lentículas só excepcionais. A eluvião³ dos gnaisses porfiroblásticos são claramente, arenosos, mas de maneira evidente e de grão mais grosso que a eluvião do gnaisse granitoide de grão fino.

Os xistos anfibólicos são rochas de grão fino, compostos na maior parte de anfíbola e na quantidade reduzida do quartzo, de maneira evidente da origem secundária. Anfibolito (amostra B1) é o litotipo mais abundante no limite entre uma das licenças da Empresa Quintos Mineração, são rochas foliadas, com textura nematobástica a granoblástica, frequentemente afetadas por catáclase tal como referido em Williams, et al., (1970). A granulação é dominante fina a média. Horneblenda é o mineral predominante.

³ Produto da decomposição de rochas, que permanece no mesmo lugar, distingue-se dos depósitos transportados pelas águas e chamados de aluviões. <http://www.dicio.com.br/eluviao/>

3.2.1 Representação da amostra G-13

Amostra proveniente da licença 4029, num conjunto de poços de pegmatitos homogêneos, e alguns diferenciados zonados, constituídos macroscopicamente por quartzo, feldspatos, turmalinas de cor escura, e berilos. As imagens da (Figura 15) ilustram esta amostra.



Figura 15: Conjunto de imagens desde a colheita da amostra G-13 até à microscopia, com vista polarizada (A3) temos uma textura equigranular média hipidiomorfica em granitoide, apresentando grãos de hábitos poligonais, e grãos de quartzo, feldspatos potássicos (microclina). Na imagem A6 representando a microclina, no centro albite.

3.2.1.1 Descrição da lâmina Delgada G-13

Observam-se minerais de quartzo, feldspatos potássicos, plagioclase. A rocha é equigranular, tendo uma estrutura maciça, e com uma pequena evidência de foliação, presença de micropertite e mirmequite. Grãos de biotite não estão orientados, com uma textura granoblástica.

3.2.1.2 Microclina

A microclina tem a seguinte fórmula química (KAlSi_3O_8), é um importante mineral dos tectossilicatos constituinte de rochas ígneas. Também designado por "feldspato alcalino", é comum no granito e rochas relacionadas e em rochas metamórficas (Dana, 1998).

A Microclina é quimicamente idêntica à ortoclase mas cristaliza no sistema triclinico, sendo o ângulo prismático ligeiramente inferior a 90° e daí o nome "microclina" do grego "pequena inclinação" (Klein & Dutrow, 2012).

A microclina é idêntica à ortoclase em todas as suas propriedades físicas e apenas se pode distinguir daquela por meio de microscópio de luz polarizada ou por difração de raios X, ao microscópio de luz polarizada a microclina exibe uma pequena e múltipla macla de carlsbad que resulta de uma estrutura em grelha que é inconfundível. (Figura 16). É provável que muita da ortoclase seja realmente microclina (Dana, 2008; Klein & Dutrow, 2012).

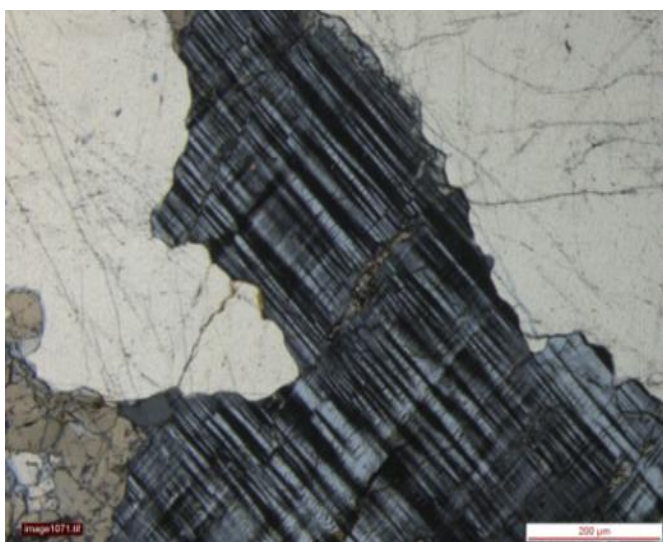


Figura 16: Lamina G-13 em Luz Polarizada, microfotografia de maclamento tartan em microclina. O espécime é visto através de um microscópio com polarizadores cruzados. A secção da fotografia é aproximadamente paralela a (001). As leis de macla representada são albite com macla e plano de composição (010) e periclínio com direção de eixo (010).

A microclina invariavelmente mostra na amostra o padrão da macla apresentada na (Figura 16), que é conhecido como macla de microclina, e o padrão xadrez consiste em dois tipos de maclas, formadas de acordo com as leis da albita e do periclínio, e só é visível em polarizadores cruzados de um microscópio. E esta combinação de relações de macla marca a mudança da simetria de monoclinico, para triclínico (Klein & Dutrow, 2012).

Neste pegmatito, a microclina é encontrada intercrescida com quartzo, formando uma textura gráfica, tendo bandas descontínuas ou irregulares (001) e (010), como resultado da exsolução da albita. Quando a temperatura baixa, a solução sólida exsolve em duas fases, potássica e sódica, originando-se intercrescimentos de feldspatos potássicos e feldspatos sódicos, micro ou macrocristalinos, designados micropertites, macro pertites e anti pertites (Velho, et al., 1998). Nas pertites, há um intercrescimento heterogêneo de lâminas finas de feldspatos rico em sódio num cristal de feldspato potássico enquanto na anti pertite se verifica o oposto (Figura 17).

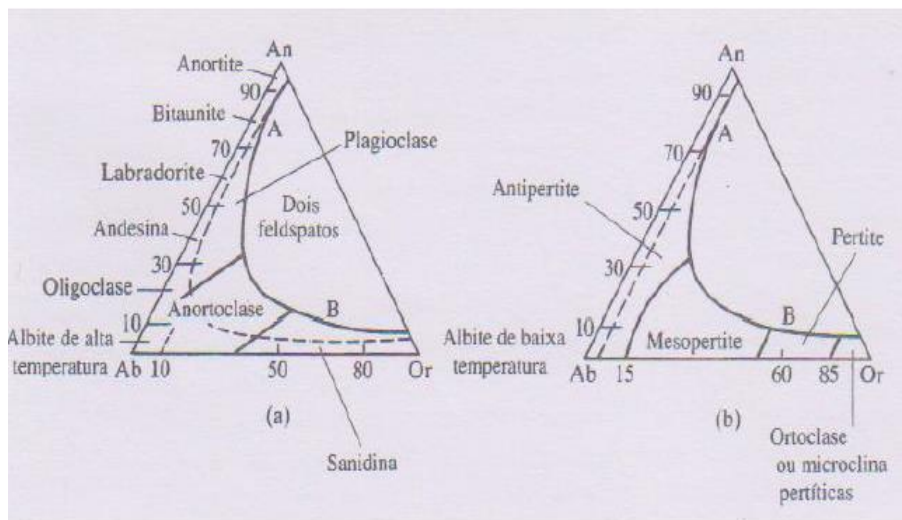


Figura 17: Projecção dos campos de estabilidade de feldspatos de alta temperatura (a) e baixa temperatura (b) em diagramas ternários Ab-An-Or (Deer, et al., 1966).

3.2.1.3 Quartzo

As propriedades físicas, químicas e óticas que caracterizam o quartzo serão relacionadas a seguir, baseadas nas descrições mineralógicas de Velho et al (1998), Dana (2008), Moura & Velho (2011) e Klein & Dutrow (2012), o mineral pertencente a família dos tectossilicatos, e do grupo do quartzo.

Alfa quartzo, ou simplesmente quartzo, cristaliza-se na classe 32, no sistema trigonal, classe trapezoédrica-trigonal, cujos elementos de simetria são três eixos horizontais binários e um eixo vertical ternário. Em luz plana polarizada (LPP) é incolor, tendo um aspeto superficial liso, não possuindo clivagem.

A estrutura é formada por átomos de Si em coordenação 4 com átomos de Oxigénio. O tetraedro SiO_2 é a unidade básica na estrutura do quartzo e de outros polimorfos da sílica (cristobalite, tridimite, coesite e stishovite). Sendo o mineral mais abundante da cobertura terrestre, ocorre como mineral secundário, primário, encontrado em arenitos, arcoses, granitos, riólitos, gnaisses e quartzitos.

Os cristais de quartzo apresentam-se sob formas características, mostrando prismas com faces estriadas horizontalmente, terminados por combinação de romboedros, dando a impressão de bipirâmides hexagonais. O quartzo tem brilho vítreo, é transparente a translúcido, geralmente incolor, leitoso em algumas espécies, podendo se tornar colorido na presença de impurezas químicas, peso específico igual a 2,65 nas variedades puras e dureza 7 na escala relativa de Mohs. Não possui clivagens, apenas fracturas concoidais.

A composição química do quartzo é dada por SiO_2 , com peso molecular de 60,09, sendo que o silício corresponde a 46,7% e oxigénio equivale a 53,3%. É insolúvel em ácidos, com excepção do ácido fluorídrico.

3.2.2 Descrição da lâmina Delgada 4029

Esta amostra foi colhida num afloramento de anfibolitos, no limite da licença de Quintos Mineração, com intuito de analisar o tipo de anfibolito, e os seus minerais acessórios.

Macroscopicamente o anfibolito é uma rocha metamórfica foliada, com xistosidade mais ou menos desenvolvida, constituída essencialmente por hornblendas e plagioclase (Costa, 1993) (Figura 18).

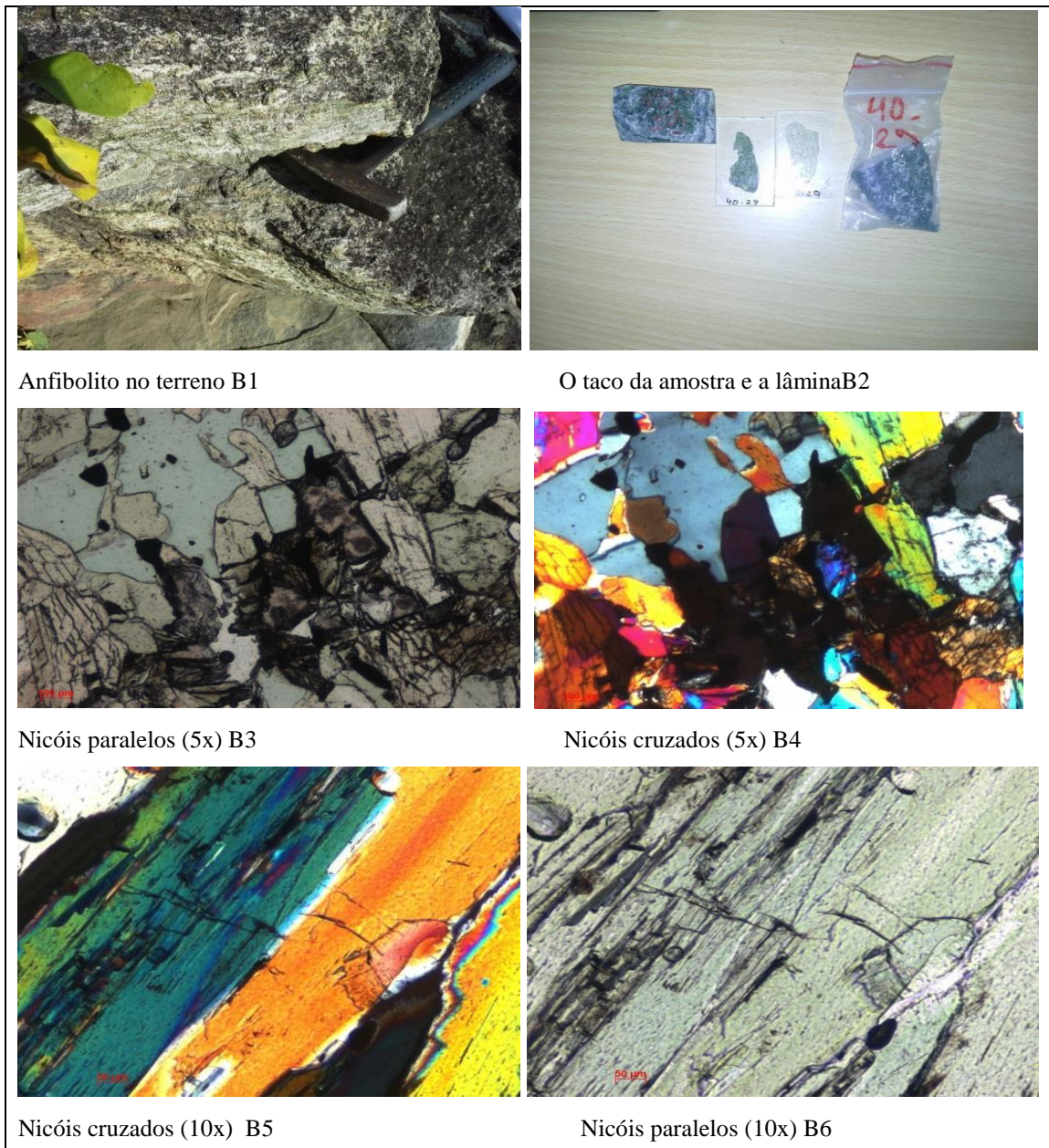


Figura 18: Um mosaico com representações do anfibolito *in situ* (B1), depois em lâminas (B2), e por final em microfotografias (B3 a B6). Nota-se a orientação preferencial dos prismas de hornblenda que definem uma xistosidade. A mudança de verde para azul, caracteriza a transição da serie Actinolite-Hornblenda segundo Williams et al., (1970).

Os anfíbolitos são rochas escuras, normalmente negras, de grão fino a muito fino. São normalmente rochas densas e duras. Por estudos microscópicos podem distinguir-se facilmente os dois grupos e definir variedades consoante a natureza da anfíbola. Em microscópio, segundo as imagens acima (B3 a B6), os grãos verdes, e verde amarelado são os grãos da anfíbola, enquanto os brancos são os grãos da plagioclase (Figura 18).

As anfíbolas são Inossilicatos, silicatos de cadeias duplas, com a polimerização do radical $[\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]^{-7}$. Dependendo da estrutura cristalina do mineral ele será chamado de orto-anfíbolito, quando está cristalizado no sistema ortorrômbico ou clino-anfíbólico, quando cristaliza no sistema monoclinico. Havendo similaridades macroscópicas e microscópicas entre as anfíbolas com as piroxenas, Klein & Dutrow (2012) salientam que a principal característica distintiva entre anfíbolas e a piroxenas é a clivagem: as anfíbolas formam planos de clivagem a 56° , enquanto as piroxenas formam ângulos de aproximadamente 90° entre esses planos.

As anfíbolas podem ser minerais de formação primária ou secundária. Os primeiros (primários, como a horneblenda) ocorrem como constituintes de rochas ígneas como o granito, o diorito e andesito, os restantes (secundários) ocorrem em mármore, em resultado de metamorfismo de contacto (como a tremolite), ou resultam da alteração da augite por dinamometamorfismo (actinolite) Dana (2008) (tabela 3).

As microfotografias B3 a B6 da (Figura 18) mostram que estamos perante uma série Actinolite- Horneblenda, que ocorre em rochas ígneas, tanto metamórficas, particularmente característica de rochas metamórficas de grau médio, conhecidas como anfíbolitos, dos quais a horneblenda e os plagioclásios são os constituintes maiores. Altera-se caracteristicamente para piroxénios tanto durante os estágios magmáticos tardios de cristalização das rochas ígneas, como durante o metamorfismo.

Tabela 3: Propriedades mineralógicas e cristalográficas de anfíbolos (Velho (2005); Klein & Dutrow (2012)).

Series		Fórmula	Cristalografia e ocorrência
Antofilita		$(\text{Mg,Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Ortorrômbico, com clivagem perfeita, brilho vítreo, vários tons de verde, marrom, fibroso, aciculares, ocorre em rochas ultrabásicas, folhelhos dolomíticos e em gnaisses.
Serie da cummingtonite ⁴ (Férrica)	Cummingtonite	$\text{Fe}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Monoclínico, cristais bem definidos, fibrosos, lamelares e radiados, clivagem perfeita, brilho sedoso, marrom clara, ocorre em rochas metamorfizadas.
	Grunerite	$\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Serie da tremolite (Cálcicas)	Tremolite	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Monoclínico, cristais prismáticos, lamelar, clivagem perfeita, brilho vítreo, diferenciam-se dos piroxênios pelo ângulo de clivagem, e da hornblenda pela cor mais clara. Ocorre em calcários dolomíticos metamorfizados, e actinolite é um mineral característico das fácies metamórficas de xistos verdes.
	Actinolite	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Hornblenda	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Monoclínico, prismáticos, pode ser colunar ou fibroso, granulometria fina a grossa, clivagem perfeita, brilho vítreo, tons variados de verde-escuro a preto, pleocroísmo é amarelo-verde, ocorrem em rochas ígneas e metamórficas, anfíbolitos (hornblenda e plagioclases).
Series Sódicas (alcalinas)	Glaucofana	$\text{Na}_2(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Monoclínico, cristais aciculares, a riebeckite, as vezes é asbestiformes, clivagem perfeita, brilho vítreo, fibroso, sedoso, cor azul, a preto, pleocroísmo em azul, hábito azul e fibroso, somente ocorre em rochas metamórficas, a riebeckite ocorre em rochas ígneas, como granitos, sienitos, nefelínicos e pegmatitos. Sua variedade é a crocidolite.
	Riebeckite	$\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Arfvedsonite	$\text{Na}_3\text{Fe}^{2+}_4\text{Fe}^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Richterite	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	

⁴ Cummingtonita é modificado de cummington, Massachusets, e grunerite de Grunner, químico francês do século XVIII

3.2.3 Representação da Lâmina Delgada NA-01

Amostra colhida na região de Nanhumane (Figura 19), posto administrativo de Mavuco, distrito de Mogovolas, pertencentes à licença 4029L, onde se projeta fazer a exploração de gemas. Sendo um inselberg granitoide, com uma forma esferoidal de alta inclinação (40-50°)

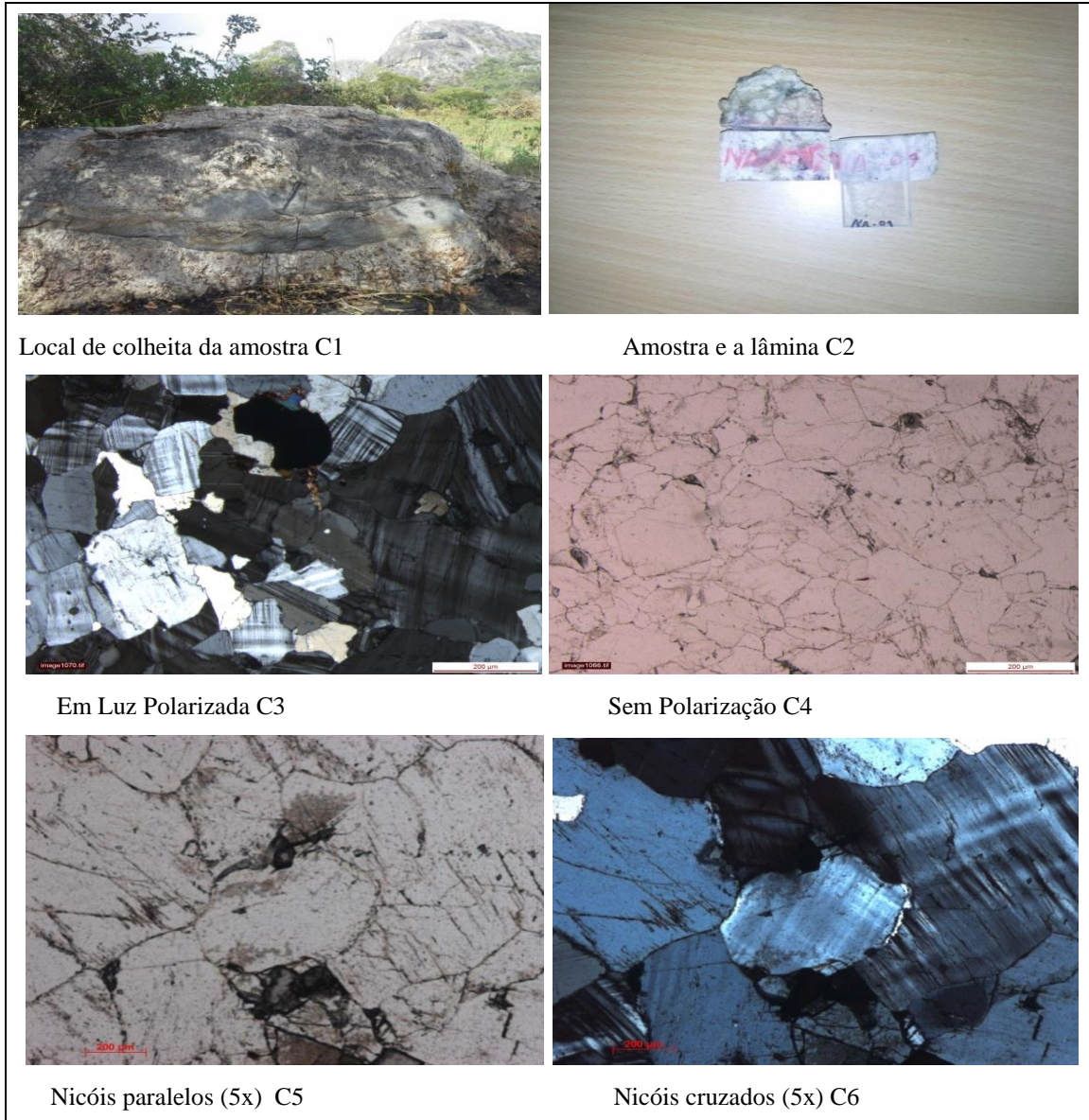


Figura 19: Um mosaico com representações do granitoide C1 amostra e a lâmina C2.

As microfotografias representadas em C5 e C6, com presença de albite, microclina e quartzo. Em C3 apresenta textura equigranular média hipidiomórfica com quartzo, com grãos de hábito poligonal e presença de grãos de biotite, plagioclase (albite) e quartzo.

3.2.4 Representação da Lâmina Delgada 4030

Pegmatito homogêneo, encontrado em Mavuco, apresentando quartzo, feldspato e mica, como minerais principais, e secundariamente a ocorrência de cristais de granadas, se distribuem regularmente ao longo do corpo pegmatítico, definindo um lineamento, também designado internacionalmente por “line rock”.(Figura 20) Possuindo uma forma tabular, com mais de 5 metros de largura, e uma extensão quilométrica, a granulometria dos minerais deste pegmatito variam entre centímetros a decímetros, apresentando o intercrescimento gráfico de quartzo e feldspatos.

3.2.4.1 Granadas

As granadas constituem um grupo dos nesossilicatos, especialmente em rochas metamórficas, com a fórmula estrutural, $A_3B_2(SiO_4)_3$, onde A e B se referem respectivamente a sítios catiónicos de coordenação de 8 a 6.(Figura 21). (Klein & Dutrow, 2012).

Os sítios A são ocupados por grandes catiões divalentes, enquanto os sítios B alojam catiões trivalentes menores. Como consequências dessas considerações de tamanho, existe uma divisão bem definida neste grupo em granadas com Ca e granadas com iões bivalentes intercambiáveis, tais como Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} no sítio A. Da mesma forma, por causa das limitadas substituições possíveis no sítio B, existe uma separação entre granadas com Al^{+3} , Fe^{+3} e Cr^{+3} .(Tabela 5). (Klein & Dutrow, 2012).

Estas duas tendências dão origem a duas séries de granadas (tabela 4): Piralspitas (Ca ausente em A; B=Al) e as Ugranditas (A=Ca). Tabela 4.

Tabela 4: Agrupamento das Granadas, divisão em series e em iões (Adaptado de Klein & Dutrow, 2012).

Piralspitas		Ugranditas		Aluminosas	Férricas	Cromíferas
Piropo	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	Uvarovite	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	Piropo, Almandina, Espessarite, Grossularia	Andradite	Uvarovite
<i>Almandina</i>	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	Grossulária	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$			
Espessarite	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	Andradite	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$			

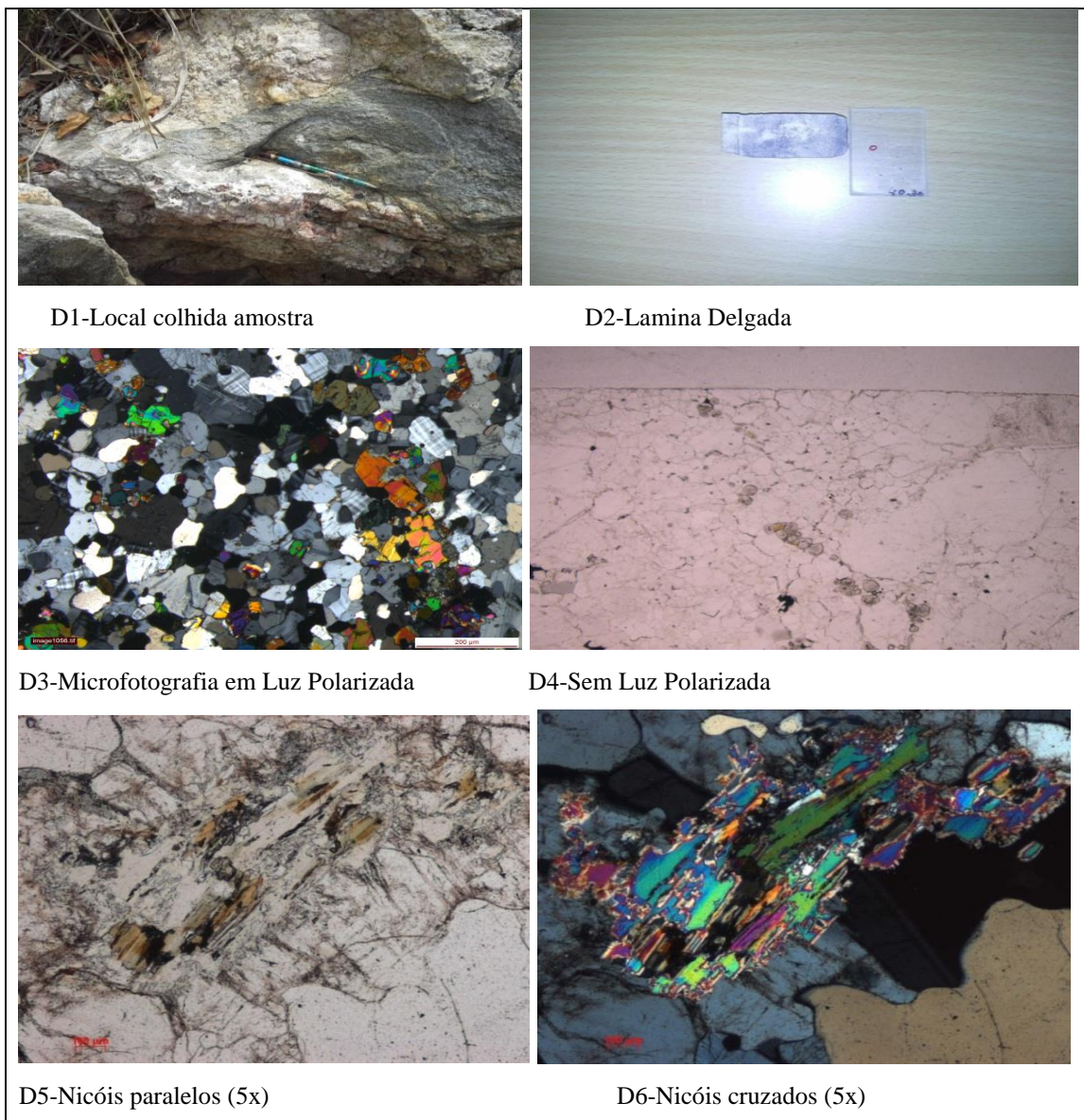


Figura 20: Macroscopicamente e microscopia da amostra 4030.

Macroscopicamente a amostra D1 pegmatitos anactéticos, que no geral, quase não contém minerais raros, tendo uma composição meramente granítica, isto, com feldspato e quartzo e micas. Na microfotografia D3 tem a textura equigranular, e cristais com hábitos hexagonais, grãos de hornblenda, biotite, clorite, quartzo, e feldspatos. Em nicóis cruzados D5, observa-se uma transformação comum da biotite (castanho) a substituição da clorite (verde), sem que haja mudança de forma, onde a biotite foi substituída a cor tomou a tonalidade verde clara da clorite, onde existe a biotite preservada a cor marrom ainda é preservada, diz se que a clorite pseudomorfisa a biotite ou que houve uma substituição sintática. E na D6 em nicóis paralelos a clorite apresenta a cor da 1ª ordem (marrom) enquanto a biotite a cor da 3ª ordem (amarelo e verdes claros).

Tabela 5: Cor in situ em lâminas, controladas pelas proporções Fe+2, Fe+3, Mn+2, Cr+3 (Adaptado por Velho, 2005).

Granadas	Em amostra de mão	Lamina
Piropo	Vermelho, rosado, violeta	Incolor.
Almandina	Vermelho intenso, castanho-escuro.	Rosado
Espessarite	Negra, castanha avermelhada	Rosado
Grossulária	Variável (marrom, rosado, amarela)	Variável.
Uvarovite	Verde intenso	Verde
Andradite	Desde amarela ate marrom escuro ou negra	Marrom

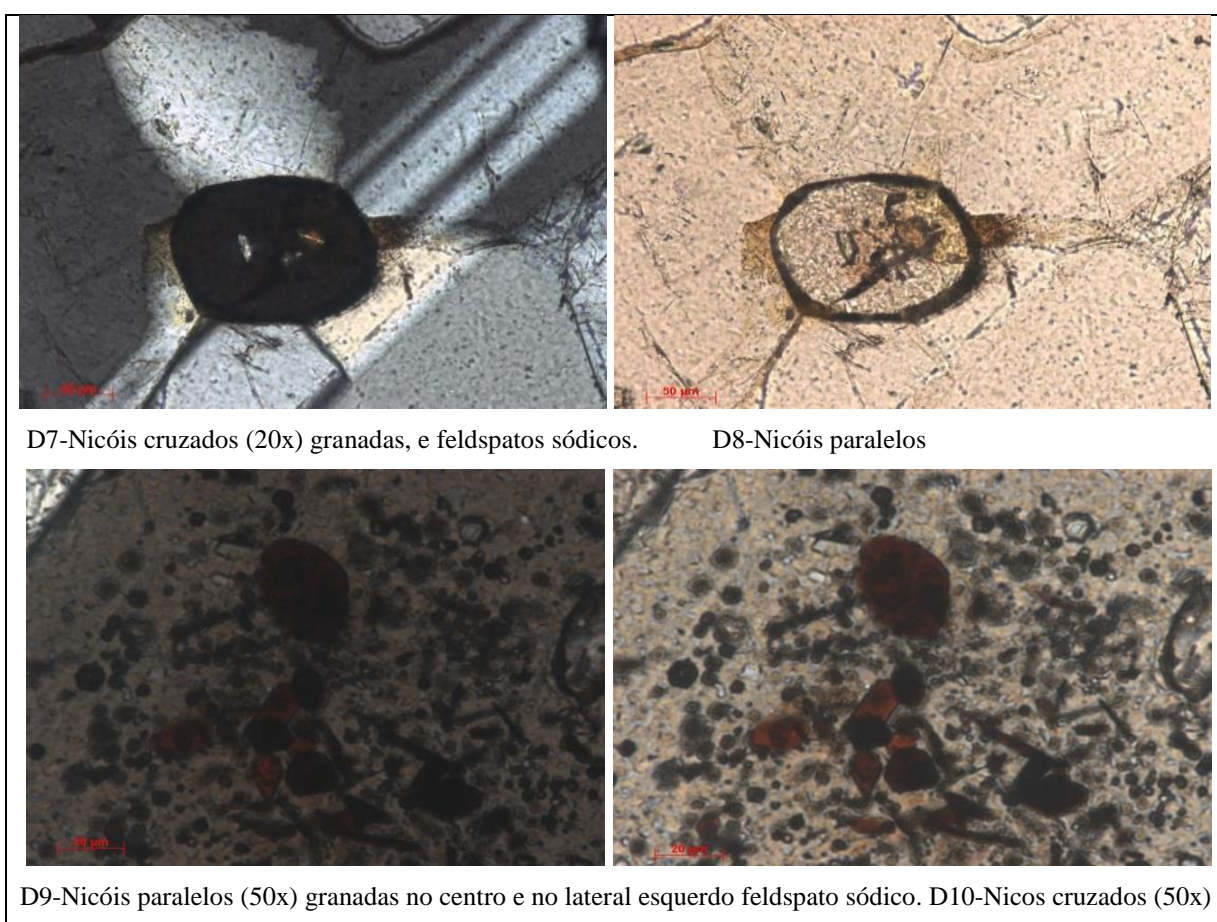


Figura 21: Microfotografia da lâmina 4030, observando-se nitidamente as granadas vermelhas.

3.2.5 Representação da Lâmina Delgada M-14

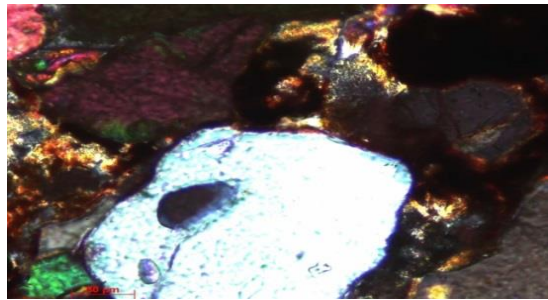
Esta lâmina foi produzida com base na amostra colhida na localidade de Nanhumane, posto administrativo de Mavuco, na licença 4030L, concretamente recolhida no poço M-14, macroscopicamente observados nas paredes blocos de quartzos, turmalinas, micas e feldspatos.(Figura 22). Geomorfologicamente tendo altitude de 237 m.



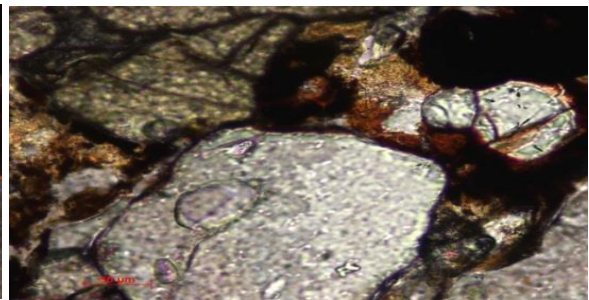
E1- Poço M-14.



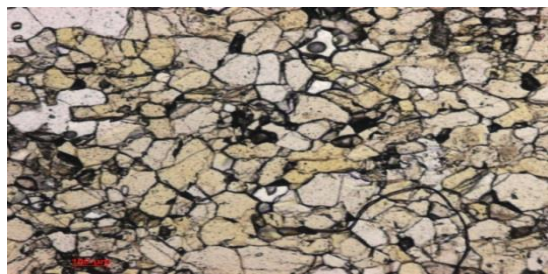
E2 Amostra de mão e a lâmina



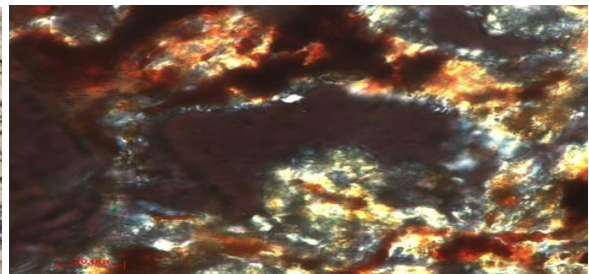
E3-Nicóis paralelos (20x)



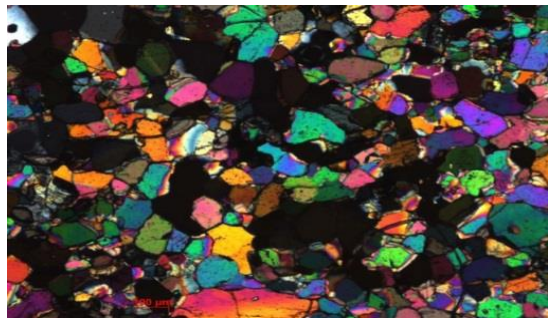
E4-Nicóis cruzados (20x)



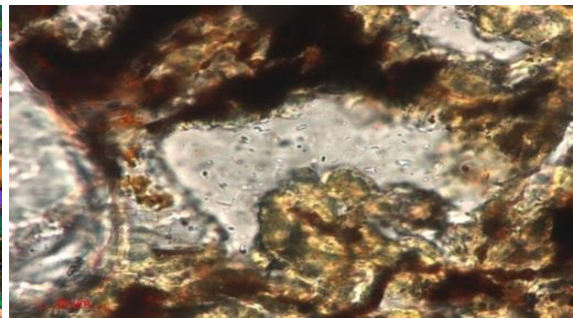
E5-Nicóis cruzados (5x).



E6-Nicos paralelos (50x)



E7-Nicóis paralelos (5x)



E8- Nicóis paralelos (50x)

Figura 22: Microfotografias da lâmina M-14, colhida em um aplito pegmatito, composto por feldspatos, micas, quartzos e hornblendas.

CAPÍTULO IV

Geoquímica da Rocha Total e Mineral

4 Geoquímica de Rocha total e Mineral

Este capítulo tem como objetivo principal caracterizar geoquimicamente os pegmatitos de Mogovolas-Moma, que se encontram localizados nas concessões mineiras da empresa Quintos Mineração. A caracterização geoquímica foi levada a cabo a partir de resultados de análises químicas das amostras 4029, G-13, NA-01, feita através do método de espectrometria de fluorescência de Raios X (FRX) adequado para análise completa de rochas, e Raios X para a identificação mineral, realizadas no departamento de Geociências na Universidade de Aveiro.

Neste capítulo são apresentadas as composições químicas, elementos maiores e menores das amostras, os seus valores médios das composições químicas e elementos menores, bem como das terras raras, e o cálculo das normas C.I.P.W, encontram-se em anexos.

4.1 Classificações Químico-Mineralógicas

Em geoquímica, os elementos são classificados de acordo com a sua abundância na crosta terrestre (Hancock et al., 2000), em:

- Elementos maiores, quando a sua concentração é superior a 1,0 % (> 10000 ppm) (% ponderal) SiO_2 ; Al_2O_3 ; FeO ; MgO ; CaO ; Na_2O ; K_2O ; H_2O ;
- Elementos menores, quando a sua concentração está compreendida entre 1,0 e 0,1 % (% ponderal) TiO_2 ; MnO ; P_2O_5 ; CO_2 .
- Elementos vestigiais, ou traços quando a sua concentração é inferior a 0,1 % (< 1000 ppm) (% ponderal) Ba; Rb; Sr; REE; Cr; Ni; Zr, etc.

O quimismo dos minerais nas rochas pegmatíticas depende essencialmente da natureza química do meio e das condições termodinâmicas de cristalização do magma que lhes deu origem, bem como de eventuais processos que decorreram após essa cristalização (Lima, 2000).

Para se obter uma classificação química e mineralógica das amostras utilizou-se o diagrama R1-R2 de De La Roche et al. (1980), diagrama TAS (total de álcalis versus SiO_2), e o diagrama molar de Na-K-Al, para os elementos maiores e os diagramas de Cond-Sun & McDonald, e o de manto primitivo de McDonough et al. (1992) para os elementos traços.

La Roche e Leterrier (1973) e La Roche et al. (1980) in (Costa, 2006), publicaram uma série de diagramas para classificar as rochas ígneas plutónicas e vulcânicas. Neste sistema de

classificação, recalculam-se as composições macro elementares para proporções mil catiónicas e determinam-se os parâmetros R1 e R2 por aplicação das seguintes equações:

- $R_1 = 4Si - 11 (Na + K) - 2 (Fe + Ti)$
- $R_2 = Al + 2Mg + 6Ca$

Embora o significado dos parâmetros usados em ordenada e abcissa nos diagramas R_1 - R_2 não seja imediato, verifica-se que R_1 reflete o grau de saturação em sílica, enquanto o valor de R_2 , em conjugação com o de R_1 , traduzem as mudanças de composição dos feldspatos e de conteúdo em minerais máficos (Costa, 2006).

Nos diagrama $R_1 - R_2$ da (Figura 23), as amostras 40-29 enquadra-se na fácies picríticas toleíticas, preservando as características ígneas, o que nos permite usá-la com segurança nos diagramas dedicados às rochas ígneas de natureza básica, vulcânica, ficando esta nos basaltos (rocha intrusiva máfica rica em Ca), enquanto as amostras NA-01 e G-13, na fácies de granitos alcalinos. O diagrama de TAS (Figura 24) nas amostras G-13 e NA-01 apresentam-se nos granitos, enquanto a 4029 na fácies subalcalina toleítica. Em termos de proporções molares (Na-Al-K), as duas amostras graníticas são rochas peraluminosas e a básica é metaluminosa.

De acordo com as proporções molares de Al_2O_3 (saturação aluminosa) as três amostras foram enquadradas em:

- 40-29- Metaluminosa: mol. Al_2O_3 (8,319) mol. < Na_2O (0,873) + K_2O (0.132) + CaO (10.984). Na razão A/CNK <1 (Metaluminosa). (Figura 26)
- NA-01- Peraluminosa: mol. Al_2O_3 (14,524) > mol. Na_2O (1.816) + K_2O (7.644) + CaO (0.063). Na razão A/CNK >1. (Peraluminosa). (Figura 26)
- G-13- Peraluminosa: mol. Al_2O_3 (16.840) > mol. Na_2O (2.135) + K_2O (8.648) + CaO (0.091). Na razão A/CNK >1. (Peraluminosa), existe Al_2O_3 para formar os feldspatos e ainda sobra, contêm frequentemente minerais ricos em Al_2O_3 como a moscovite $[KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2]$, corindo $[Al_2O_3]$, topázio $[Al_2SiO_4(OH,F)_2]$, ou um dos polimorfos de $[Al_2SiO_5]$, (distena, andaluzite, silimanite), apresentam corindo normativo. (Figura 26).

Verifica-se que as amostras (G-13, NA-01), representam fácies granítica alcalina, feldspática que expressa tendência para os campos paraluminosos, por outro lado, temos um cálcio alcalino ou subalcalino, com teores baixos em Na_2O - K_2O . Devido aos altos valores do

parâmetro Q, indicativo do alto enriquecimento em sílica, a amostra NA-01, (Figura 27), cai fora dos campos delimitados no diagrama de Debon & Le Fort (1983).

4.1.1 Elementos maiores das amostras (40-29, G-13, NA-01).

Nestes pegmatitos, foram feitas no total três amostras compostas. Obtidas numa sondagem normal e simples, próximo aos afloramentos positivos, considerados pela empresa detentora da concessão mineira em Mogovolas. Os resultados apresentam-se no quadro abaixo (Tabela 6 e 7)

Tabela 6: Composição química média em elementos maiores, em % peso, das amostras recolhidas em Mogovolas-Nampula. Fluorescência de Raios X, (Geociências Aveiro).

	4029 (%)	NA-01 (%)	G-13 (%)
LOI	2.990	1.340	2.070
Na₂O	0.878	1.816	2.135
MgO	18.571	0.036	-
Al₂O₃	8.319	14.524	16.840
SiO₂	49.057	74.344	69.892
P₂O₅	0.303	0.015	0.110
SO₃	0.077	0.021	0.014
Cl	0.020	-	-
K₂O	0.132	7.644	8.648
CaO	10.984	0.063	0.091
TiO₂	0.393	-	-
Cr	0.124	-	-
MnO	0.168	-	-
Fe₂O₃	7.846	0.146	0.079
Ni	0.095	-	-

(-) Significa abaixo do limite de deteção.

4.2 Classificações Químicas

Em termos geoquímicos, as amostras colhidas em Mogovolas-Moma, apresentam teores em SiO₂ variando entre 49,057% a 52% pertencente ao campo (4029), sendo incluída nas rochas básicas, e 69,892 a 74,344% (G-13 e NA-01) o que permite inclui-los no grupo das rochas ácidas, sobressaturadas em sílica, com quartzo modal.

Os valores obtidos confirmam a natureza peraluminosa e metaluminosa das amostras, são consistentes quer com a sua projeção no campo peraluminoso do diagrama de molaridade, observa-se que o valor de A/CNK tende a aumentar com o aumento do teor em SiO₂.

O diagrama de TAS, baseado na composição química das amostras, é o mais adequado para rochas vulcânicas, devido a sua textura afanítica ou vítrea, as amostras se encaixam no quadrante subalcalino toleítico básico (40-29), e granitos ácidos (G-13, NA01).

Tabela 7: Composição química média em elementos menores e vestigiais, em ppm, das amostras recolhidas em Mogovolas-Nampula. Fluorescência de Raios X, (Geociências Aveiro). Elementos quantificados nos maioritários.

	4029 (%)	NA-01 (%)	G-13 (%)
Sc	22.2	-	-
V	158.7	-	-
Cr	-	18.7	17.7
Mn	-	12.1	39
Co	75.3	-	-
Ni	-	-	4.5
Cu	4.4	7.6	9.6
Zn	69.9	-	-
Ga	9.7	16.7	27.3
As	7.4	-	-
Br	6.9	20.7	13.8
Rb	5	369.5	896.8
Sr	137.5	12.2	24.4
Y	15.1	-	-
Zr	28.8	4.8	-
Nb	1.2	3.5	1
Mo	2	-	-
Cs	7	11.4	47.1
Ba	7.6	44.1	97
La	12.4	-	-
Ce	35.2	-	-
Nd	12.2	-	8.7
Ti	2.4	2.7	5.6
Pb	7.6	55.4	54.5
Th	-	-	8.3
U	2.3	2.3	1.3

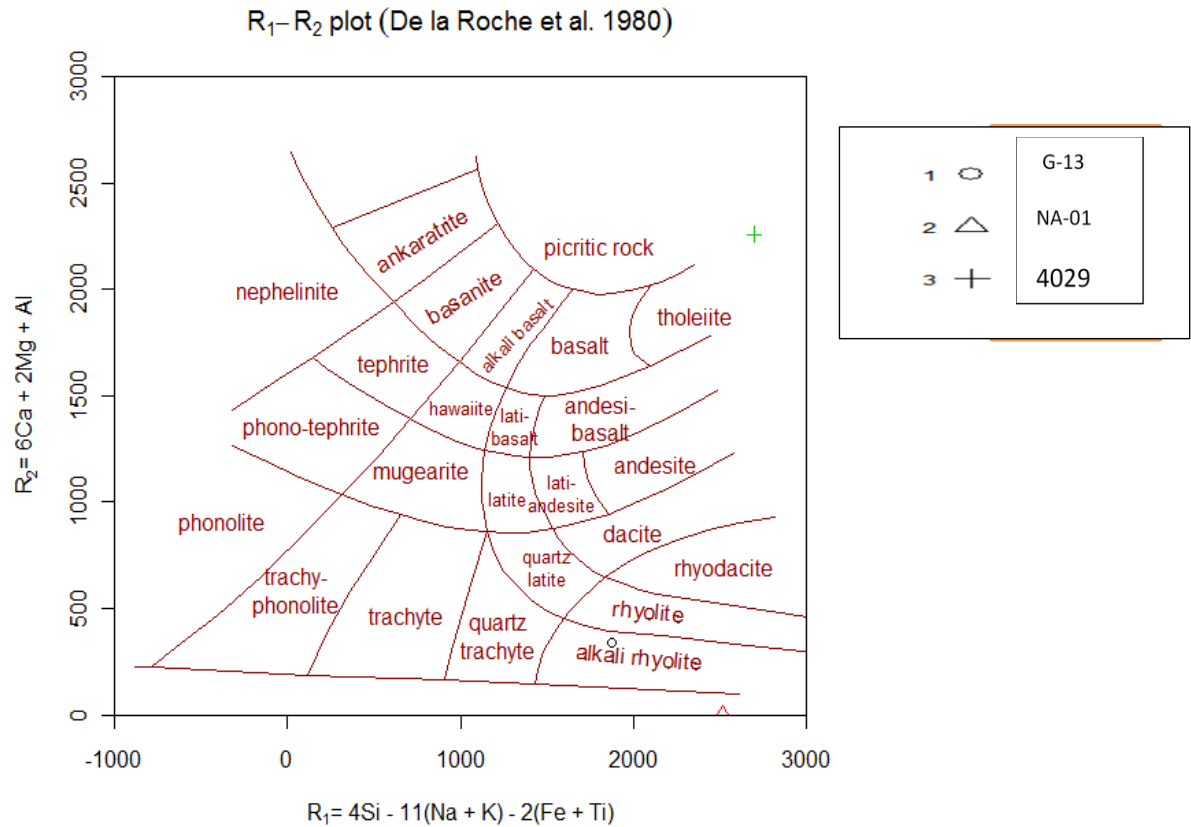


Figura 23: Diagrama multicatiônico R₁ - R₂, de classificação química de rochas vulcânicas, de De La Roche et al. (1980);

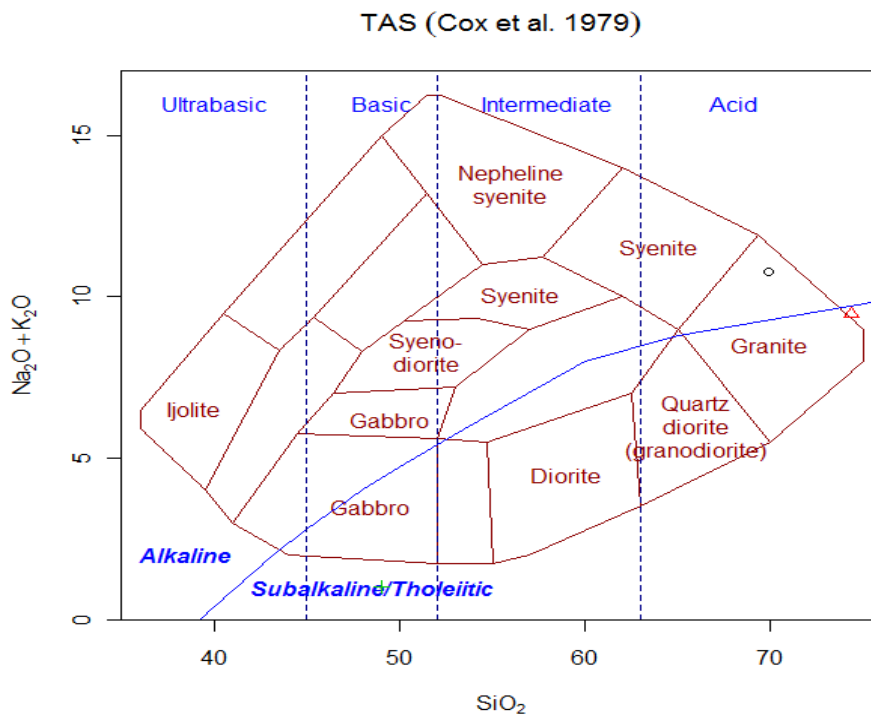


Figura 24: Diagrama TAS (1979) (total de álcalis versus SiO₂), para a classificação das rochas plutônicas.

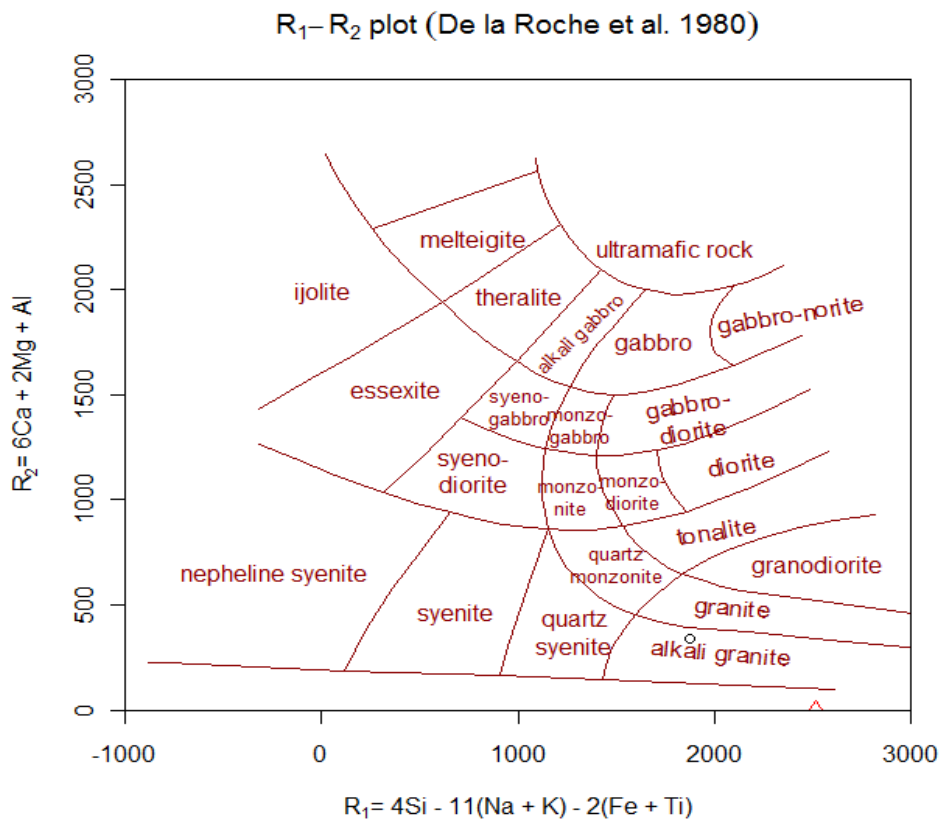


Figura 25: Diagrama de classificação química de rochas plutônicas, de De La Roche et al. (1980).

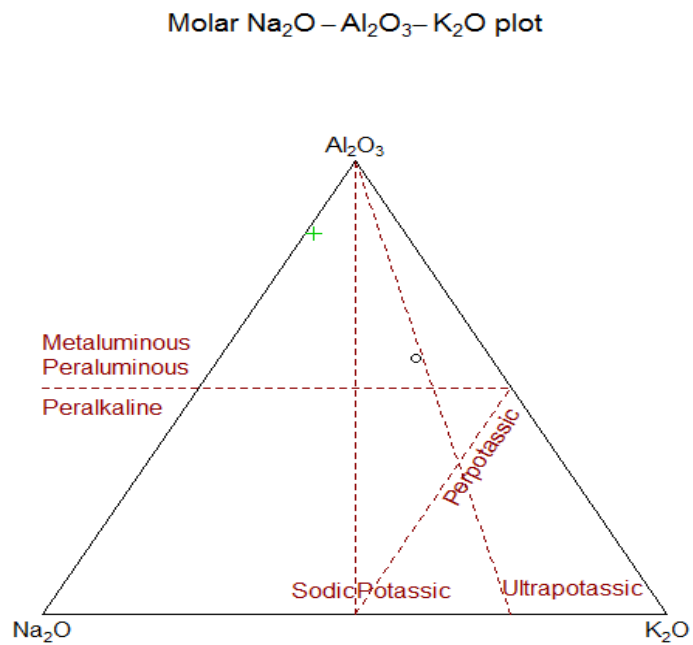


Figura 26: Diagrama de proporção molar (Na-K-Al), amostra 4029 (Metaluminosa), G-13 e N-01 (Paraluminosa).

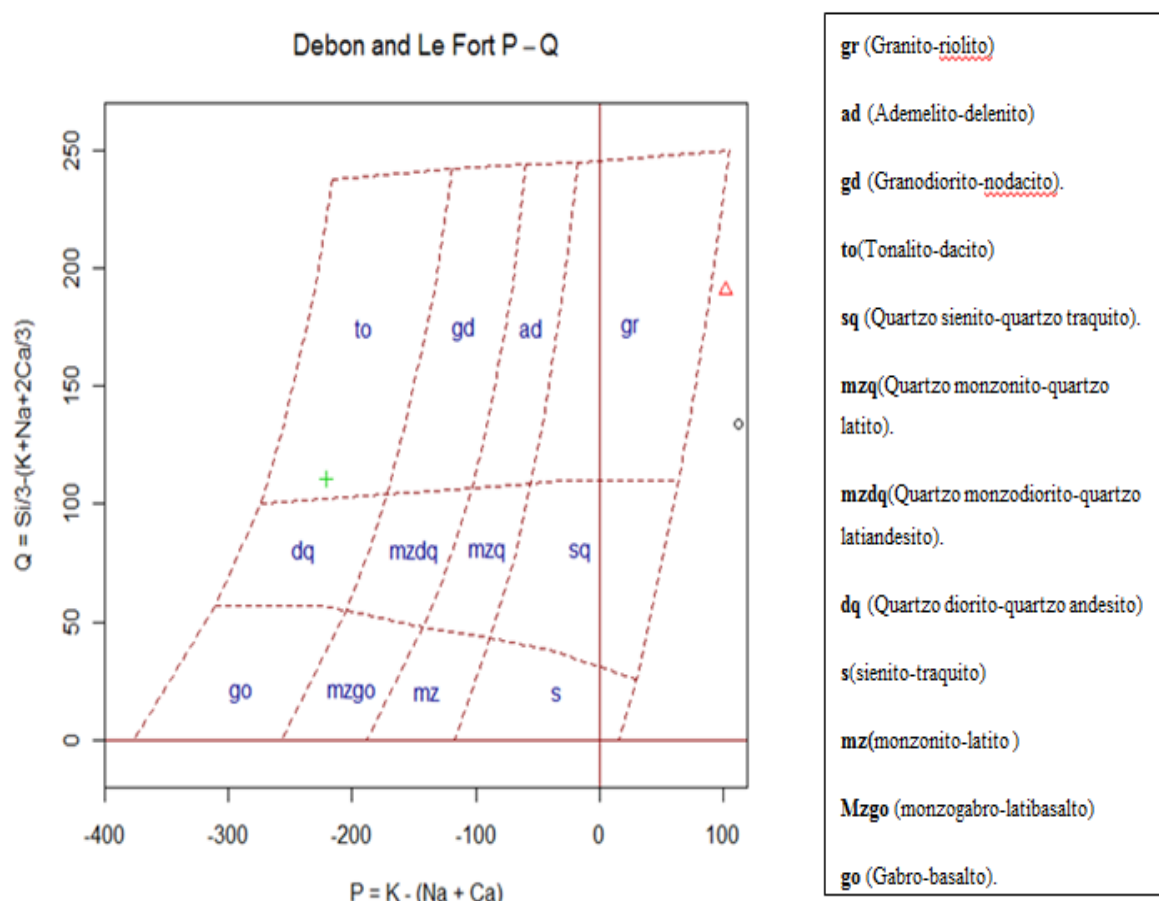


Figura 27: Classificação química dos granitoides, de acordo com Debon e Lefort (1983).

O carácter subalcalino toleítico (40-29) é indicado no digrama de TAS, entretanto, os anfibolitos mostram uma pequena variação no teor de álcalis, projetando-se no campo baixo, sugerindo um carácter mais calco-alcalino para esse grupo (Almeida, et al, 2009).

Contudo, a tendência toleítica é confirmada quando os resultados analíticos são projetados nos outros diagramas, classificação de rochas básicas, onde se observa que a amostra 40-29, apresenta composições picríticas (anfibolitos), com protólito basáltico (vulcânico).

4.3 Classificações tectónicas

Há já alguns anos, têm sido empregues parâmetros geoquímicos para definir ambientes tectónicos de geração de magmas (Pearce & Cann, 1973). Em geral os diagramas usados baseiam-se em observações empíricas, que mostram a existência de diferenças químicas entre os magmas de diversos ambientes tectónicos.

Com base no levantamento exaustivo das características geoquímicas das rochas graníticas associadas a contextos geotectónicos distintos, Batchelor e Bowden (1985) fazem uma

discriminação dos ambientes geotectónicos, com bases em proporções moleculares das rochas ígneas.

No diagrama de discriminação de ambiente tectónico, as projeções de 40-29 enquadram-se numa zona de fracionamento, do campo de basaltos, pois pertence às séries calco-alcalinas (com magma parental basalto rico em alumina), interpretado por Pearce et al (1984) como primitivo do granito de arco vulcânico (VAG), ou do tipo S, enquanto a amostra G-13, projecta em ambiente anorogénico, e sendo um granito do tipo A e NA-01 projecta em ambiente pós orogénico, adequado a génese dos granitoides, pois as duas últimas são granitoides.(Figura 28).

O complexo de Nampula apresenta uma migmatização e deriva certamente de um complexo Vulcano-sedimentar rico em grauvaques e em rochas vulcânicas básicas, intermédias, e mais raramente ácidas (Afonso & Marques, 1993).

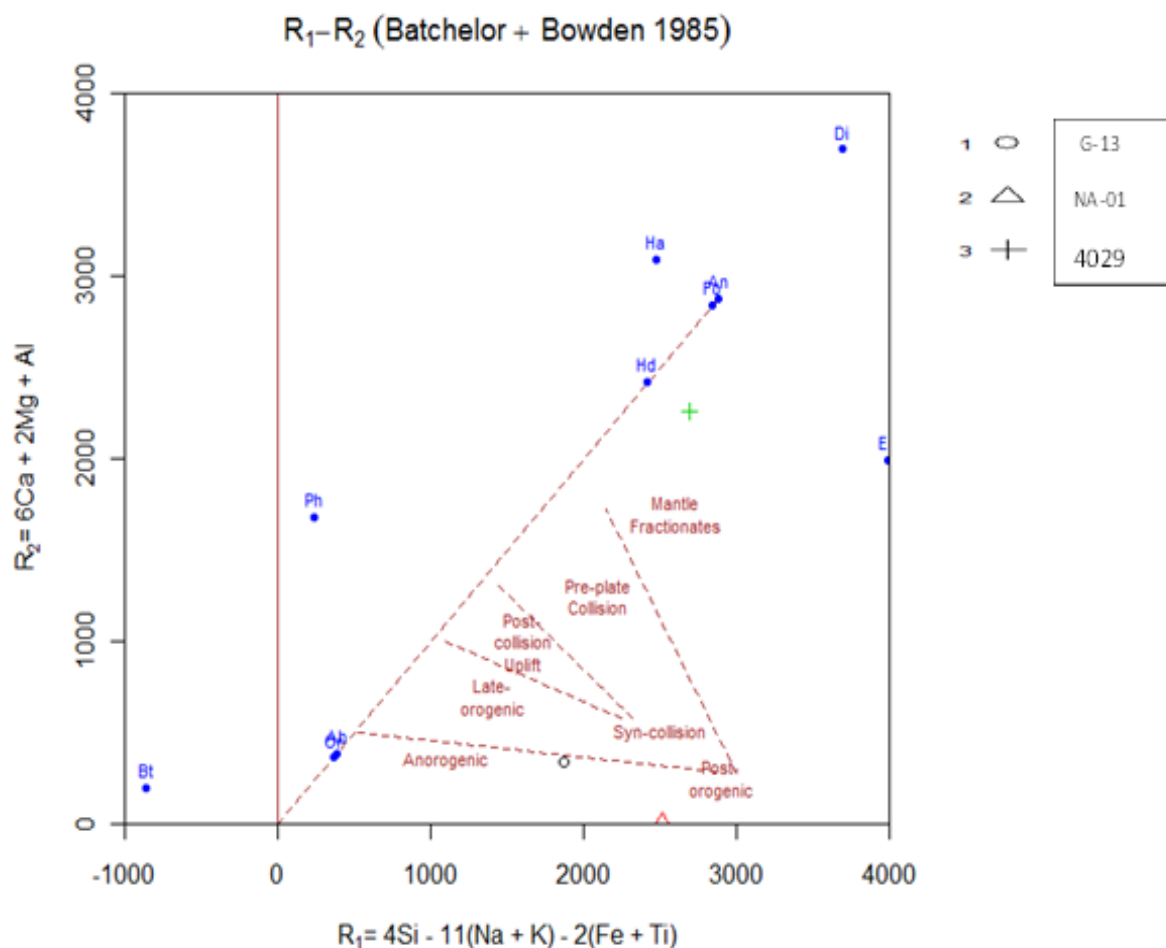


Figura 28: Diagrama R1 ($R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$) vs. R2 ($R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$) de Batchelor e Bowden (1985).

4.4 Diagramas dos elementos traços

Os teores dos elementos traços contidos em uma determinada rocha podem ser comparados com padrões conhecidos, já publicados, que servem de referência em estudos geoquímicos. O estudo de tais elementos levou ao desenvolvimento dos diagramas multi elementares, onde estes elementos incompatíveis, representados no eixo das abcissas da (Figura 29), diagrama de Taylor & Mc Lennan (1981) em que juntamente com as REE são comparados com os mesmos elementos de um determinado padrão conhecido na literatura (Thompson, 1982) e depois Mello (2000).

O padrão de distribuição dos elementos incompatíveis das amostras colhidas em Mogovolas, estão representadas no diagrama multi-elementar (diagrama spider), obtido no software Petrograph, (Figura 29). Estando representadas as concentrações dos elementos incompatíveis, incluindo REE (Nd, Ce, La), normalizados em relação ao manto primitivo obtido por Cond-Sun & Mc Donald (1989) e McDonough et al. (1992).

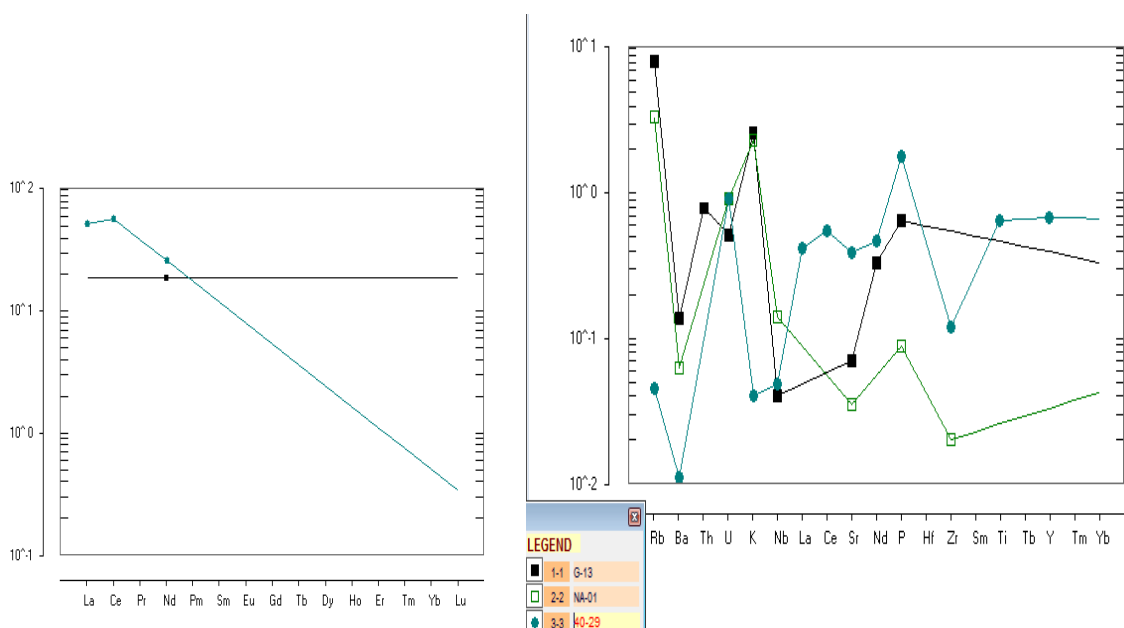


Figura 29: Diagrama de REE elaborado por Cond-Sun & Mc Donald (1989) e diagrama de Taylor & Mc Lennan (1981) diagrama multi-elementos de elementos incompatíveis para os granitoides, e das rochas básicas (anfíbolitos). Elementos normalizados em relação ao manto primitivo.

A amostra do granitoide (G-13) mostra um enriquecimento de terras raras leves (ETRL) em relação às terras raras pesadas (ETRP), mostrando um equilíbrio em Nd. Enquanto o outro NA-01, mostra um empobrecimento total em REE, sendo os anfíbolitos, as rochas básicas, apresentando elementos traços em Nd, Ce, e La, com teores mais elevados em relação aos granitoides. Os granitoides têm anomalias moderadas em Ba, K, Sr e positivas em Rb,

enquanto as básicas têm anomalias negativas em Ba, Rb, Nb e suaves em K, Zr, La, Nd e Y e positiva em Sr.

4.5 Geoquímica dos Minerais

Esta fase, foi desenvolvido com base na difração de raios X, e os seus resultados foram interpretados em software denominado Xpoder. A descoberta dos raios X em 1895 permitiu aos cientistas sondar a estrutura cristalina ao nível atômico. A difração de raios X (DRX) envolve um conjunto de ondas eletromagnéticas, os raios X, que são produzidas quando há uma grande aceleração de partículas electricamente carregadas, que geralmente são os elétrons. Os raios X ao interagirem com a matéria provocam a sua difração e, cada sólido cristalino tem um padrão único característico, podendo ser usado como uma “impressão digital” na sua identificação. A DRX é utilizada na identificação, caracterização e determinação da estrutura cristalográfica dos minerais (Veiga, 2011).

Este procedimento foi analisado no laboratório de Difração de Raios X da UA-Geociências. Começando pela preparação das amostras no laboratório de materiais, onde foi produzido pó num moinho de argolas, com um almofariz de ágata, em 5', 700 rotações por minuto, material a processar com características moles, frágil e pastoso, de granulometria inicial ≤ 8 mm e o final ≤ 10 μ m.

O equipamento de Difração de Raios-X é basicamente um tubo emissor de raios-X, uma câmara circular onde se situa a amostra (goniómetro) e um detetor que recebe os raios difratados.

A técnica de ensaio consiste em incidir um feixe de raios-X (de comprimento de onda conhecido), sobre uma camada fina de pó, que gira no centro do goniómetro. Como consequência o feixe se difrata e reflete com ângulos que são característicos do retículo cristalino, obtendo-se o correspondente difratograma. A identificação dos minerais nos difratogramas baseia-se na localização dos picos, e as determinações quantitativas baseiam-se nas áreas e alturas dos mesmos picos.

Os minerais analisados são as das anfíbolas, amostra 4029, tendo 27g de pó, para identificar-se o tipo de anfíbola. Outra com feldspatos e quartzo, amostra NA-01 tendo 37,6g de pó, e feldspatos com 39,4g na amostra G-13, em ambos minerais feldspáticos, o objetivo principal é a obtenção da triclinicidade. Em cada amostra total foi retirado 2g introduzido, na porta amostras, com 65° de inclinação, fazendo a leitura 0,02°/s e cada amostra é feita a análise total em 51'.

4.5.1 Serie actinolite-horneblenda (Amostra 4029).

A amostra é um anfibolito, caracterizado pela transição da série de actinolite-horneblenda, com uma fórmula química geral de $W_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH,F)_2$, onde W representa Na^+ e K nos sítios A, X representa Ca^{+2} , Na^+ , Mn^{+2} , Fe^{+2} , Mg^{+2} , e Li^+ , nos sítios M4, Y representa Mn^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} e Ti^{+4} , nos sítios M1,M2,M3 e Z se refere ao Si^{+4} e Al^{+3} nos sítios tetraédricos (Klein & Dutrow, 2012).

A série actinolite-horneblenda, (Figura 30) (Figura 31), abrange os minerais da classe dos inossilicatos, membros intermédios da série tremolite (rico em Mg), e ferroactinolite ou horneblenda (rico em Fe). Sendo a horneblenda constituída essencialmente por mistura isomorfa de silicatos de Ca, Mg, Fe, Al e por vezes Na, Mn e Ti (Tabela 8). (Deer, et al.,2010; Klein & Dutrow, 2012).

Sendo distinguido em ótica, no capítulo da petrografia, na passagem da cor verde para o azulado. Pois o pleocroísmo da actinolite é amarelo ao verde-escuro, transparente e opaco.

Em amostras naturais e em experiências laboratoriais, assim alguns pares de actinolites-horneblendas coexistentes podem ser indicadores mais propriamente de metamorfismo progressivo (gradual ou brusco) do que de imiscibilidade (Tabela 9). (Hawthorne et al, 2012).

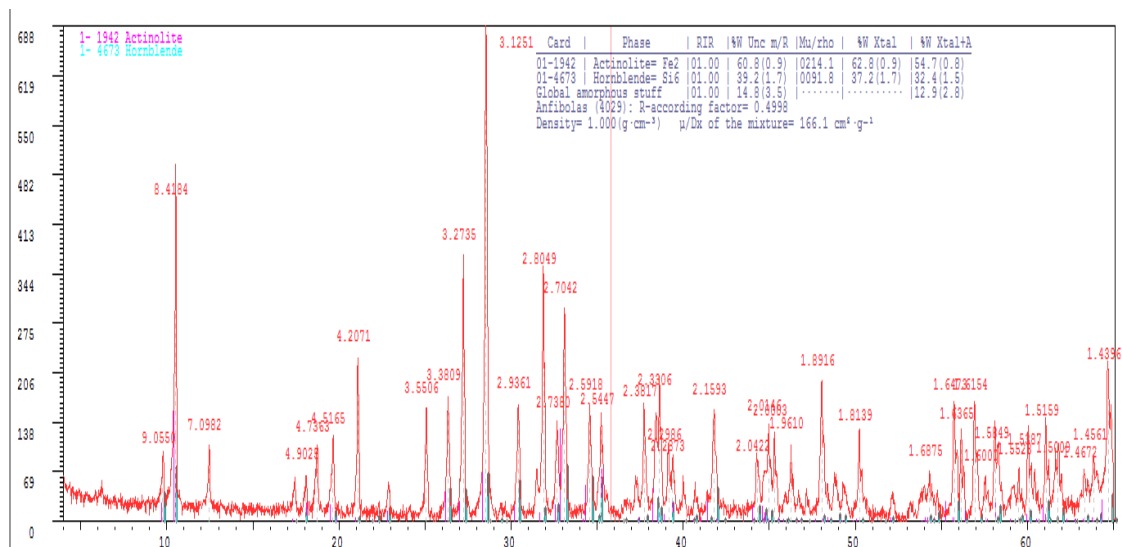


Figura 30: Espectro extraído do X Powder, difratograma com as variedades das anfíbulas identificadas no DRX, da amostra 4029

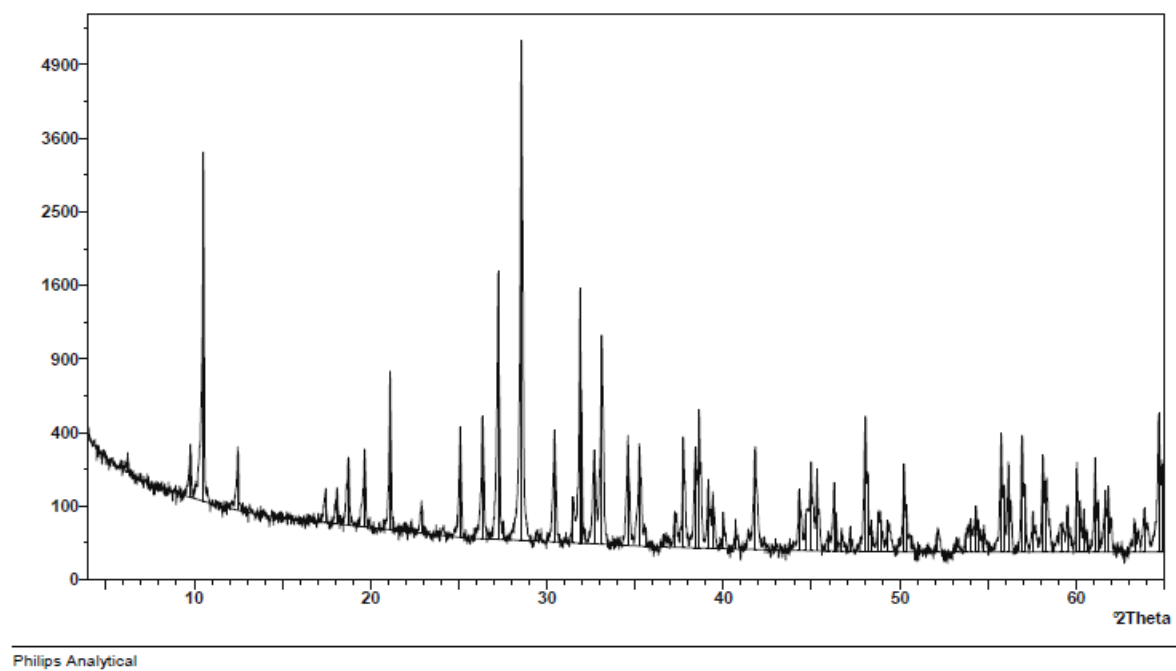


Figura 31: Difratoograma da amostra 4029

Tabela 8: Aspectos difratometricos da amostra 4029.

Mineral	Teta 2	Intensidade	D-spacing	D-spacing padrão	h k l
Horneblenda $\text{Si}_{6,2}\text{Al}_{2,66}\text{Mg}_{3,55}\text{Fe}_{83}\text{Ca}_1$	10.55	95.01	8,44	8.51(0.55)	1 1 0
	33.30	100	2,70	2.72(0.35)	1 5 1
	28.67	85.20	3.12	3.14(1)	3 1 0
Actinolite $\text{Fe}_{2,673}\text{Mn}_{0,42}\text{Mg}_{2,405}\text{Ca}_{1,872}$	10.44	100	8.4764	8.38(1)	1 1 0
	32.87	68.88	2.7245	2.71(0.9)	1 5 1
	28.33	46.10	3.1450	3.12(1)	3 1 0

Tabela 9: Propriedades cristalográficas e físicas da série actinolite-horneblenda

Propriedades cristalográficas	Actinolite	Horneblenda
Sistema cristalino	Monoclínico	Monoclínico
Classe de simetria	Prismática	Prismático
Parâmetros da célula	a=9,84 b=18,1 c=5,28Å ^o	a=9,87 b=18,01 c=5,33Å ^o
Grupo espacial	C 2/m	C 2/m
Propriedades físicas	Actinolite	Horneblenda
Densidade	3,04	2,9-3,4
Dureza	5,5 - 6	5-6
Clivagem	[110] - Perfeita	Duas direcções de clivagem perfeitas a 60°/120°
Brilho	Vítreo	Não metálico-vítreo
Opacidade	Opaco	Opaco
Risca	Branco	Branca acinzentada

A actinolite, forma-se a partir do metamorfismo retrógrado de rochas básicas, porém com um aumento do metamorfismo, torna-se instável. A actinolite natural é restrita, devido a necessidade de estabilidade na pressão e temperatura. As horneblendas são comuns nas rochas ígneas e metamórficas, principal mineral dos anfibolitos (Hawthorne et al, 2012).

Sendo assim as condições para gerar actinolite-horneblenda, estão directamente ligadas ao metamorfismo de baixo grau, e temperaturas e pressões não muito elevadas se comparadas a outros minerais metamórficos ou aos próprios piroxénitos. Também predomina a actividade em água (reacção química em presença de água). Se houver um aumento do grau metamórfico, o teor de alumínio tenderá a aumentar, e a série tremolite-ferro-actinolite tenderá a se aproximar da variação horneblenda (Hawthorne et al., 2012).

4.5.2 Análise mineralógica da amostra Na-01 e G-13

As amostras são compostas por microclina, albite, quartzo, e calcite, sendo incorporadas no grupo dos granitoides (Fig. 32 e 33).

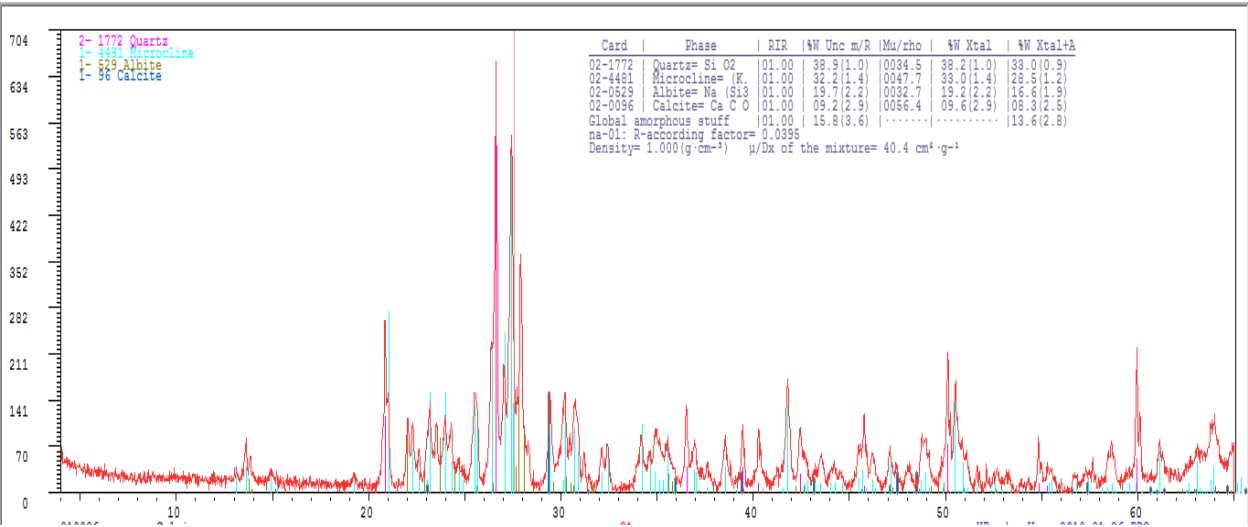


Figura 32: Extraída do X Powder, difratograma com as variedades das anfíbolas identificadas no DRX, amostra Na-01

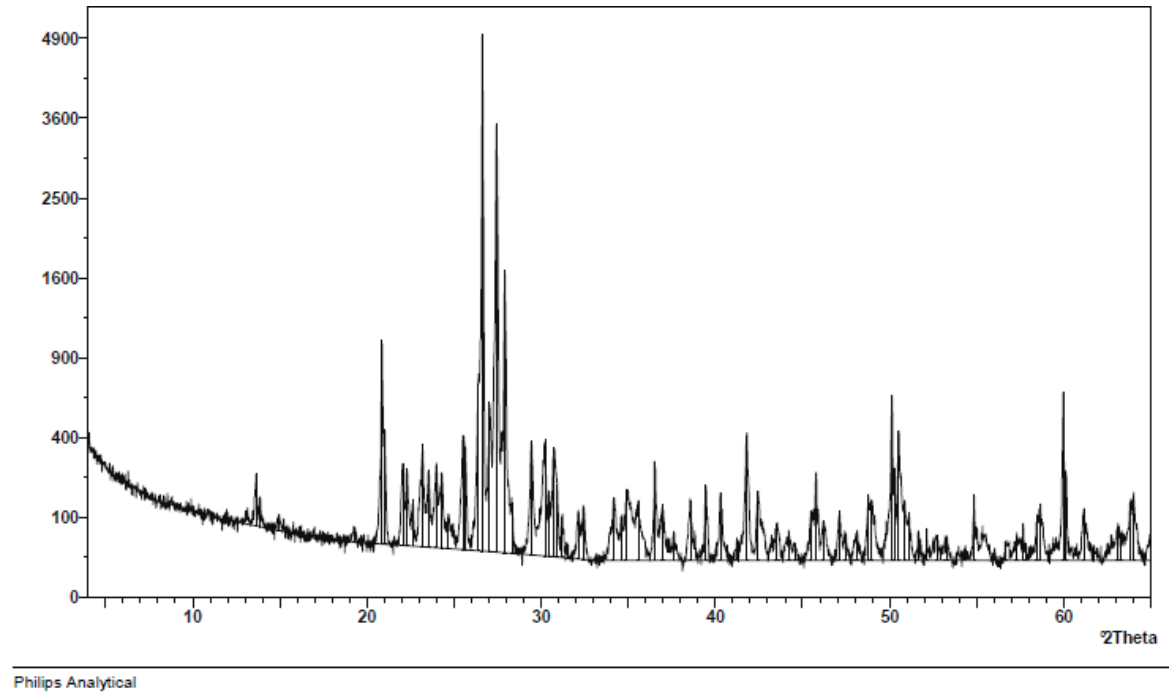


Figura 33: Difratograma da amostra NA-01

Tabela 10: Aspectos difratométricos da amostra Na-01.

Mineral	Teta 2	Intensidade	D-spacing	D-spacing padrão	h k l
Calcite	29.42	100	3.0357	3.035(1)	1 0 4
CaCO ₃	48.54	20.02	1.8754	2.095(0.18)	1 1 6
	39.44	20.16	2.2848	2.285(0.18)	1 1 3
Albite	22.03	100	4.0354	3.176(1)	-2 0 1
Na(Si3Al)O8	28.12	93.84	3.1733	3.211(0.3)	0 0 0
	27.83	77.83	3.2059	3.752(0.3)	-2 0 2
Microclina	21.06	83.04	4.6048	4.225(0.58)	0 2 1
(K95Na0,5)AlSi3O8	27.10	73.70	3.2904	3.241(0.96)	-2 0 2
	27.46	100	3.2481	3.292(1)	0 0 2
Quartzo	26.66	30.26	3.3439	3.342(1)	0 1 1
SiO ₂	26.67	100	3.3439	1.8179(0.14)	1 0 1
	20.87	19.74	4.2556	4.257(0.22)	1 0 0

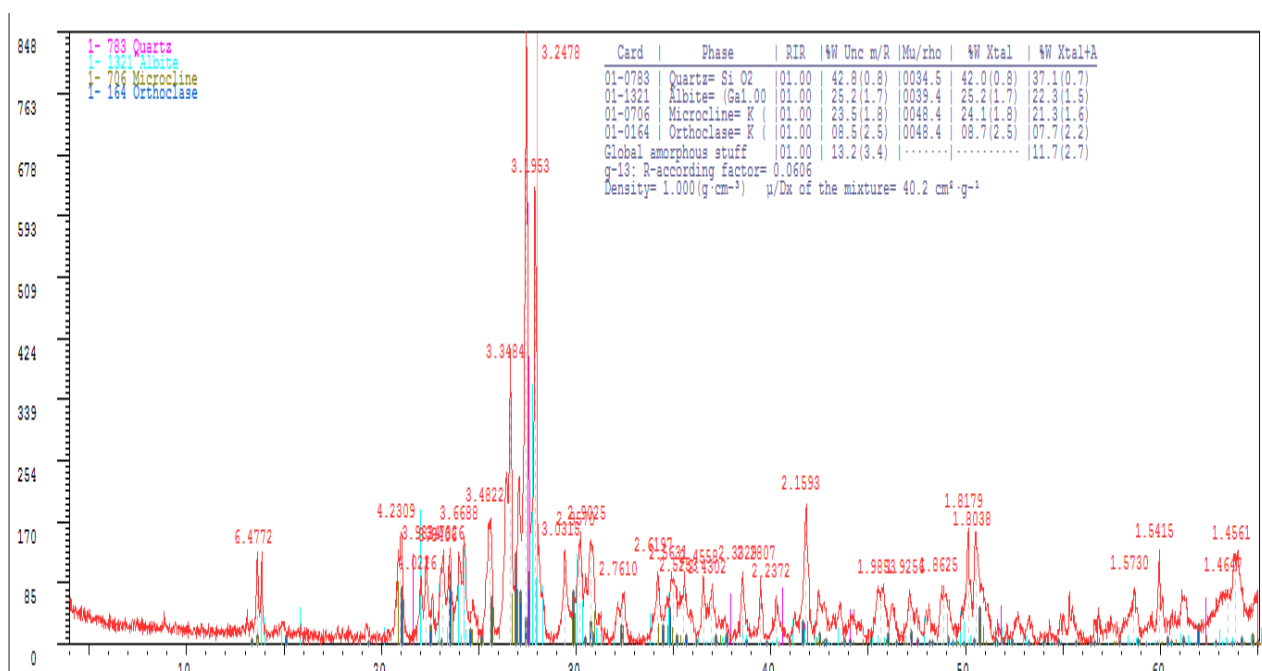


Figura 34: Extraída do X Powder, difratograma com as variedades das anfíbolos identificadas no DRX, amostra G-13

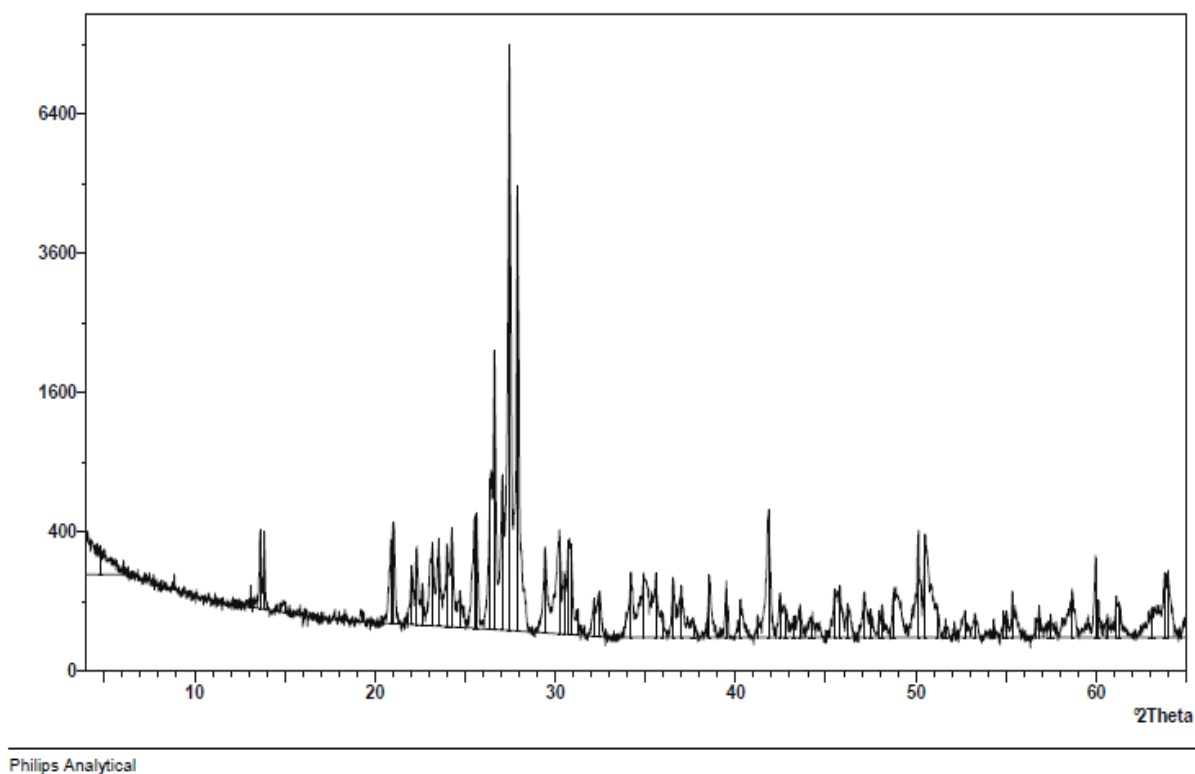


Figura 35: Difratoograma da amostra G-13

Tabela 11: Aspectos difratométricos da amostra G-13.

Mineral	Teta 2	Intensidade	D-spacing	D-spacing padrão	h k l
Albite (Ga _{1.001} Si _{2.999})NaO ₈	22.01	79.92	4.0379	3.211(0.3)	-2 0 1
	27.66	73.38	3.2252	3.752(0.3)	-2 0 2
	27.78	100	3.2108	3.176(1)	0 0 2
Ortóclase (KSi ₃ Al)O ₈	26.93	100	3.3103	3.18(1)	2 2 0
	23.57	77.79	3.7748	3.8(0.8)	1 3 0
	21.07	61.29	4.2169	4.02(0.9)	-2 0 1
Microclina (KSi ₃ Al)O ₈	20.88	77.02	4.2547	4.225(0.58)	-2 0 1
	27.05	68.87	3.2965	3.241(0.96)	-2 0 2
	27.65	100	3.2256	3.292(1)	0 0 2
Quartzo SiO ₂	25.54	100	3.3411	3.342(1)	0 1 1
	26.67	36.8	3.3329	1.8179(0.14)	1 0 1
	21.87	20.74	4.2556	4.257(0.22)	1 0 0

4.5.2.1 Calcite

Resulta de alterações das rochas regionais, sobretudo dos feldspatos e da biotite, surgindo também como resultado de migração de CO_2 a qual se processou, essencialmente, nos espaços abertos entre os minerais. A fragmentação do quartzo devido ao “choque térmico, terá originado uma concentração de fluidos na sua vizinhança, de que resultaram conjuntos de reações que, pela libertação de Ca^{2+} , permitiram a fixação do CO_2 , originando-se calcite (Rodrigues et al., 2010).

4.5.2.2 Quartzo

Mineral do grupo dos silicatos, com uma estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica, na subclasse dos tectossilicatos. O seu hábito é cristalino, prisma de 6 lados que termina em pirâmides de 6 lados, embora distorcidas e ainda colunar, em agrupamentos paralelos, em formas maciças (compactas, fibrosas, granular, criptocristalina), maclas com diversos pseudomorfos. (Tabela 10). (Velho, et al., 1998; Deer 2010).

4.5.2.3 Feldspatos

Os feldspatos das amostras de Mogovolas exibem cores que variam entre branca e castanho clara e, pontualmente, verde. São os constituintes principais dos pegmatitos simples e são comuns em filões minerais. Quimicamente a maior parte pode ser classificada como membros do sistema ternário $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Albite, Ab) - KAlSi_3O_8 (feldspato K, Or) - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (Anortite, Na) (Figura 34 e 34). (Deer, 2010).

Nos feldspatos alcalinos, o ordenamento Al/Si e Na/K origina a acentuadas diferenças na simetria, nas propriedades óticas e na morfologia, e texturas de exsolução (Deer, 2010). Nos feldspatos das amostras G-13 e NA-01, foi verificada a geminação em xadrez em lâmina delgada, apresentando o feldspato potássico um aspeto turvo, devido à abundância de inclusões fluidas (Folk, 1955). As maclas em xadrez são associações de maclas polissintéticas de albite e periclina.

Os teores em K_2O e Na_2O nos granitoides são: para G-13 ($\text{K}_2\text{O}=8.648$, $\text{Na}_2\text{O}=2.135$), NA-01 ($\text{K}_2\text{O}=7.644$, $\text{Na}_2\text{O}=1.816$), sugerindo uma microclina sódica, denominada anortóclase, com uma fórmula química de $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$, cristalizado no sistema triclinico, apresentando uma intensidade entre 3.211(1), 3.243(0.9), 4.106(0.16), no difratograma (Xpowder) e a sanidina

(KAlSi_3O_8) com os picos entre 3.26(1), 3.22(0.9), 3.27(0.75), e a microclina com os entre 3.292 (1), 3.241 (0.96), 4.225 (0.58). (Tabela 11).

O conteúdo em alguns elementos traço (Rb, Cs, Li etc.) dos feldspatos potássicos podem ser úteis para solucionar alguns aspectos da evolução interna dos pegmatitos. Contudo, segundo Shearer et al., (1985) a interpretação dos resultados pode ser bastante complexa, pois os dois granitóides possuem teores elevados de Rb, Pb, e Ba, moderadamente os outros elementos traços.

Lopes Nunes (1979) referiu-se à correlação positiva entre Rb, Cs e a cor verde e azul das microclinas de Monapo em Nampula, porém para Mogovolas apresentam teores elevados.

Os teores de Pb elevados nos feldspatos, sugerem a presença de scotlandite (PbSO_3), com intensidade dos picos entre (I/I_0) 3.99(1), 3.25(0.8), 3.38(0.7).

4.5.3 Triclinicidade dos Feldspatos

O grau de afastamento da simetria monoclinica pode ser denominada obliquidade ou triclinicidade e a sua medida pode ser obtida a partir de um diagrama de pó de raios X. A obliquidade da microclina diminui quando aquecida durante um espaço de tempo não muito longo originando, eventualmente a sanidina (Deer, 2010).

$$\Delta = 12.5 [d(131) - d(1\bar{3}1)] \quad (1)$$

Goldschmidt e Laves (1954) sugeriram uma expressão matemática para a determinação da triclinicidade através da diferença das distâncias inter-reticulares dos planos de reflexão (131) e ($1\bar{3}1$) expressas em Å, multiplicada pela constante empírica 12.5, segundo a expressão (1). Esta diferença angular é, não somente a medida da triclinicidade que se supõe depender da distribuição do Al/Si, mas também uma medida do grau da ordem (Lopes Nunes, 1973; Lima, 2000).

Os planos em que ocorrem as maclas de albite e da periclina no cristal da microclina permitem evidenciar que esta cristalizou primeiro com a simetria monoclinica e se tornou subsequentemente, triclinica.

Os dados respeitantes ao ordenamento podem ser obtidos diretamente a partir das distâncias interatômicas ou das ocupações das distâncias interatômicas determinadas por difração dos raios X ou do fluxo neutrónico, ou ainda em casos especiais, por métodos tais como ressonância magnética nuclear ou espectroscopia de infravermelhos (Deer, et al., 1966).

A triclinicidade varia entre 0 e 1, de tal modo que, uma microclina com um máximo de triclinicidade terá um valor Δ igual a 1, que corresponde a uma separação máxima entre os dois picos igual a 0.08 Å. Com o aumento da desordem estrutural, a triclinicidade diminui até atingir um valor 0, correspondente à estrutura da sanidina que tem simetria monoclínica. (Moiana, 2010).

Apesar da simplicidade do método, registam-se alguns inconvenientes como, a dificuldade de localização dos planos (131) e (13 1) para $\Delta < 0.5$ e a sobreposição de picos (131) da albite e da microclina quando se trata de feldspatos pertíticos. (Tabela 12). Quando a ortóclase estiver presente o seu pico (131) pode ser confundido com o da microclina (Lopes Nunes, 1973). Os picos de difratometria dos granitoides (feldspatos), estão em anexo, e de referência indexáveis para o cálculo da obliquidade estão representados (Tabela 11.) Os afastamentos relativamente a estes valores determinam as variações da triclinicidade. (Tabela 12).

Tabela 12: Distâncias inter-reticulares de diferentes planos de reflexão dos feldspatos (em Lopes Nunes, 1973). (Moiana, 2010).

Fase mineral	Distância inter-reticular (Å)	Plano de reflexão
Microclina	3.037	(131)
	2.960	(13 1)
	2.911	(022)
Albite	2.964	13 1)
	2.930	(022)
Ortóclase	2.991	(131)

Os fatores que controlam a triclinicidade em rochas naturais são variáveis, mas destacam-se a temperatura de formação ou de recristalização, a taxa do arrefecimento das rochas e atividade de fluídos hidrotermais. Martin (1969) apud (Moiana, 2010) referiu que existia uma forte relação entre a razão $Al/(K+Na)$ da fase fluída e o grau do ordenamento dos feldspatos. Baixa razão $Al/(K+Na)$ favorece o ordenamento e elevada razão $Al/(K+Na)$ impede o ordenamento.

Tabela 13: Resumo Petrográfico e Mineralógico das Amostras

Amostra	4029	4020	4030	G-13	NA-01
Tipo de rocha	Anfibolito	Granitoide, anfibólico, rico em piroxena	Pegmatito rico em albite	Granito rico em albite, simples e homogêneo	Granito
Minerais principais	Anfíbola rica em Mg	Plagióclase+feldspato potássico+quartzo+anfíbola+diópsido+epidoto primário	Albite+quartzto+feldspato potássico+moscovite.	Feldspato potássico+albite+Quartzo	Feldspato potássico+quartzo+plagioclásio.
Minerais acessórios	Sem feldspatos e quartzo. Com clorite, apatite e magnetite (Cr, Ti).	Magnetite, apatite, titanite.	Granadas, e inclusões vermelhas semelhantes a hematites. Magnetite+cassiterite+zircão+thorite (Th).	Magnetite e hematite	Zircão, Xenotimo, uraninite.
Analizados	Anfíbola, clorite e magnetite.	Feldspato potássico, Plagióclase (albite), epídoto, anfíbola, diópsido.	Moscovite, Plagióclase, feldspato potássico, magnetite e granada.	Plagióclase e feldspato potássico.	Plagióclase.

4.5.4 Resultados da Microsonda electrónica

Os resultados da microsonda eletrónica levaram à confirmação da petrografia efetuada e encontra-se resumida na tabela 13.

As granadas que constituem a lineação da amostra 40-30 são da série Almandina. Apresentam, tal como se verifica na (Figura 36), um grau de evolução bastante desenvolvido, mas ainda longe do exemplo da mina do pegmatito de Quintos, ou mesmo do Alto Mirador, ambas no Brasil, comparação com os pegmatitos (4030) da empresa Quintos Mineração em Moçambique.

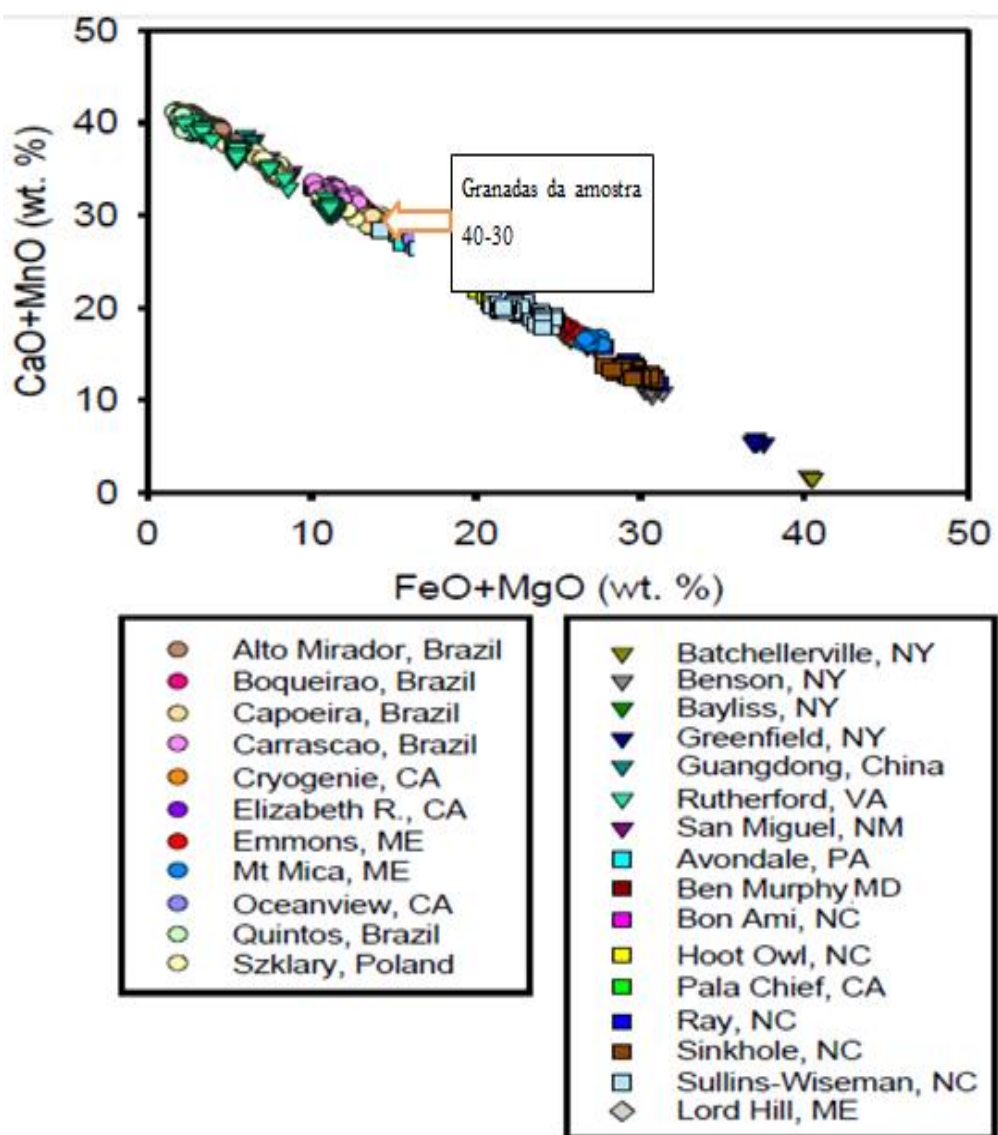


Figura 36: Localização das análises de microsonda eletrónica efetuadas às granadas da amostra 40-30, mostrando um grau de evolução grande, mas ainda longe do de Pegmatito de Quintos (adaptado de Moretz et al., 2013).

No que diz respeito ainda às granadas, as inclusões de minerais no seu interior são na sua maioria hematite de cor avermelhada conforme resultados da microsonda eletrónica.

CAPÍTULO V

Seleção de áreas de prospeção com recurso aos SIG

5 Seleção de áreas de prospecção com recurso aos SIG

5.1 Introdução

Com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) a partir da década de 1960, inúmeras técnicas foram desenvolvidas para auxiliar na interpretação e análise de dados espaciais. As características de consulta, manipulação, visualização e análise de dados dos SIG, tornam estas ferramentas úteis na geração de mapas de favorabilidade (ou potencial) mineral, através da análise espacial (Harris, et al., 2000).

Análise espacial define-se como o processo de inferência de significados a partir dos dados, e pode ser usado como factor para predição de áreas de favorabilidade através de modelos de mineralização (Bonham-Carter, 1994). Em pesquisa mineral, mapas de favorabilidade representam áreas classificadas (ou ordenadas), indicando o maior ou menor potencial de ocorrência de depósitos minerais.

Este método oferece uma abordagem vantajosa à questão do zonamento da favorabilidade mineral, pois é um sistema computacional adaptativo que pode revelar conhecimento a partir dos dados. Possuem algumas propriedades que as tornam adequadas ao reconhecimento de padrões e à classificação de dados espaciais, entre as quais (Brown, 2000):

- (i) A habilidade em extrair padrões ocultos em conjuntos de dados que podem ser impercetíveis aos humanos e às técnicas estatísticas tradicionais;
- (ii) A capacidade de analisar dados sem nenhum conhecimento prévio, não necessitando de um modelo de depósito mineral;
- (iii) A possibilidade de trabalhar com dados com ruído, limitados, interdependentes ou não lineares;
- (iv) A possibilidade de adição contínua de novos dados;
- (v) Facilidade para a análise de grandes conjuntos de dados.

Na região de Iuluti-Chalaua, distritos de Mogovolas-Moma no Norte de Moçambique, existem sinais fortes de existência de vários tipos de mineralização. Uma região pouco rica em estudos geológicos anteriores, com potencial da existência de turmalina Paraíba, confirmada em três países (Moçambique, Nigéria, Brasil). Estas contêm grande quantidade de cobre, ferro e manganês, elementos químicos responsáveis também pelos variados tons e, ainda, a presença de esmeraldas, safiras, rubis, turquesas, ou seja várias gemas que existem nessa região.

A seleção das áreas de prospeção foi feita nas licenças pertencentes à Empresa Quintos Mineração, focada em prospetar turmalinas Paraíba, nomeadamente em três localidades: Nanhumane, Maraca, e Mavuco.

5.2 Metodologia

5.2.1 Aquisição e integração dos dados

Numa primeira fase procedeu-se à recolha bibliográfica da informação disponível relativa a cartografia geológica e a dados administrativos da região. Em seguida recolheu-se informação geográfica e geológica durante a fase de recolha de amostras. A informação disponível foi inserida digitalmente no SIG (nomeadamente os diques, falhas, litologias da região) sob o formato vetorial de forma a poder relacionar a informação entre si. O software utilizado foi o ArcGIS 10.0.

5.2.2 Organização da informação

A organização da informação foi efetuada por camadas temáticas, ou seja “Layers”, tais como, diques, falhas, litologias, e linhas de água. Seleccionaram-se os seguintes critérios:

1. Associação entre as mineralizações e as litologias, com ocorrência principalmente em quatro tipos de granitos, seis tipos de gnaisses leucocráticos e um granito porfírico (critério “Data Driven” ou seja, resultante dos dados).
2. Os anticlinais como critério de acordo com Smirnov (1982), já que os campos pegmatíticos costumam estar associados aos anticlinais ou eixo das curvaturas em profundidade (critério “Knowledge Driven” ou seja, resultante do conhecimento).

5.3 Desenvolvimento dos Trabalhos e Discussão

A informação contida na carta geológica do Norte de Moçambique, mostra que a região é afetada por dois ciclos metamórficos, orogenias e dobramentos, duas gerações de pegmatitos que se intrudiram no complexo de Nampula, e com gemas instaladas numa estrutura de cisalhamento, e encaixado em rochas anfibólicas e gnaissicas. Os dados foram introduzidos num projeto de SIG, UTM-Datum_WGS_1984_36_SE

Quanto às estruturas que ocorrem na área de estudo, nota-se a existência de estruturas circulares, mas também ocorrem estruturas lineares regionais como falhas e foliações (com duas orientações preferenciais NE/SW e NNE/SSW) que são bons guias na pesquisa de campo de pegmatitos (Afonso, 1978).

Bonham-Carter (1997) classifica as várias técnicas de mapeamento de potencial mineral em duas abordagens distintas: a *knowledge-driven*, onde os parâmetros do modelo de mineralização são definidos por um especialista, e que compreende os métodos de lógica booleana e fuzzy, e a *data-driven*, na qual o modelo é calculado a partir dos dados (ocorrências conhecidas).

Dados os conhecimentos descritos em Deveaud et al (2013) também aqui os pegmatitos parecem associados a falhas conhecidas para a região em estudo. No entanto não se devem utilizar como critério porque o bloco norte da área de estudo não foi efetuada pela mesma equipa de Cartografia Geológica (GTK, NGU e CGS), onde foi dada uma importância muito inferior aos aspetos estruturais. Do estudo estatístico fica nítido que existe uma associação espacial clara entre a ocorrência de pegmatitos e a zona de cisalhamento de Namama.

A grelha utilizada para o cálculo dos raster de todo o projeto foi uma grelha com células de 1km de lado. A valoração atribuída a cada critério foi de 1 para as áreas abrangidas pelo “Buffer” e 0 para toda a restante área (ver fig. 37).

A imagem da (Figura 37) mostra alinhamentos NE-SW, que não são evidentes na carta geológica da região. Esses alinhamentos são concordantes com as falhas cartografadas e os eixos das dobras. Por essa razão consideramos os critérios válidos, e revelador dum guia a aplicar na prospecção.

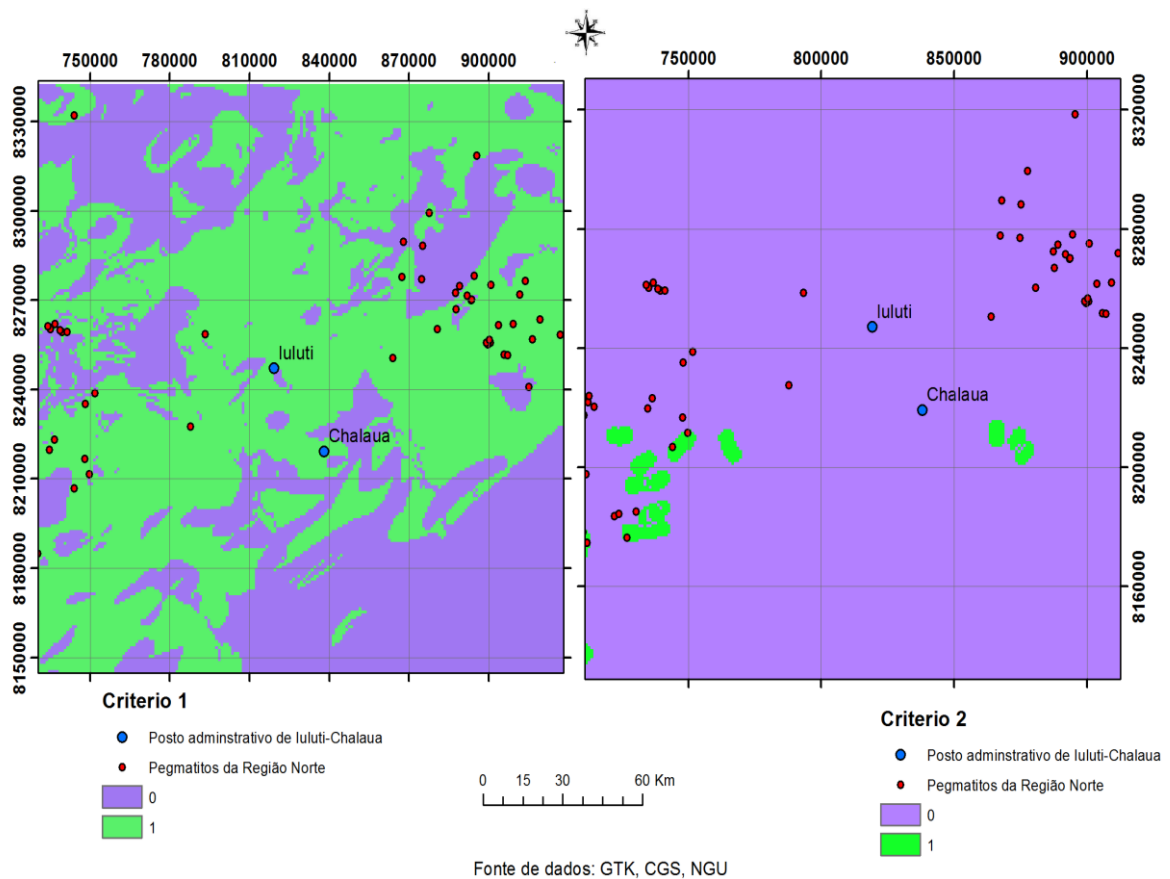


Figura 37: Critérios de tratamento de dados: litológicos e proximidade a anticlinais.(Pelo autor).

Com toda a informação reunida e auxílio do SIG, obteve-se um mapa de preditividade que traduz a potencialidade da região, obtida pela soma algébrica dos dois critérios definidos. A valoração atribuída ao mapa gerado foi de 0 a 2, sendo 0 e 1 as áreas menos favoráveis para serem estudadas em pormenor, e as áreas com valoração 2, com mais interesse em que a prospeção seja pormenorizada (Figura 38).

No anexo I (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), somando os quatro critérios no projeto: Geologia com pegmatitos, distancia 1Km ao contacto (a média está a 700m e o desvio padrão é 1Km), distancia 5km às falhas, distancia 2km aos anticlinais, originando uma carta, com as possíveis fontes das areias pesadas (rútilo, zircão, ilmenite), que ocorrem na região norte de Moçambique.

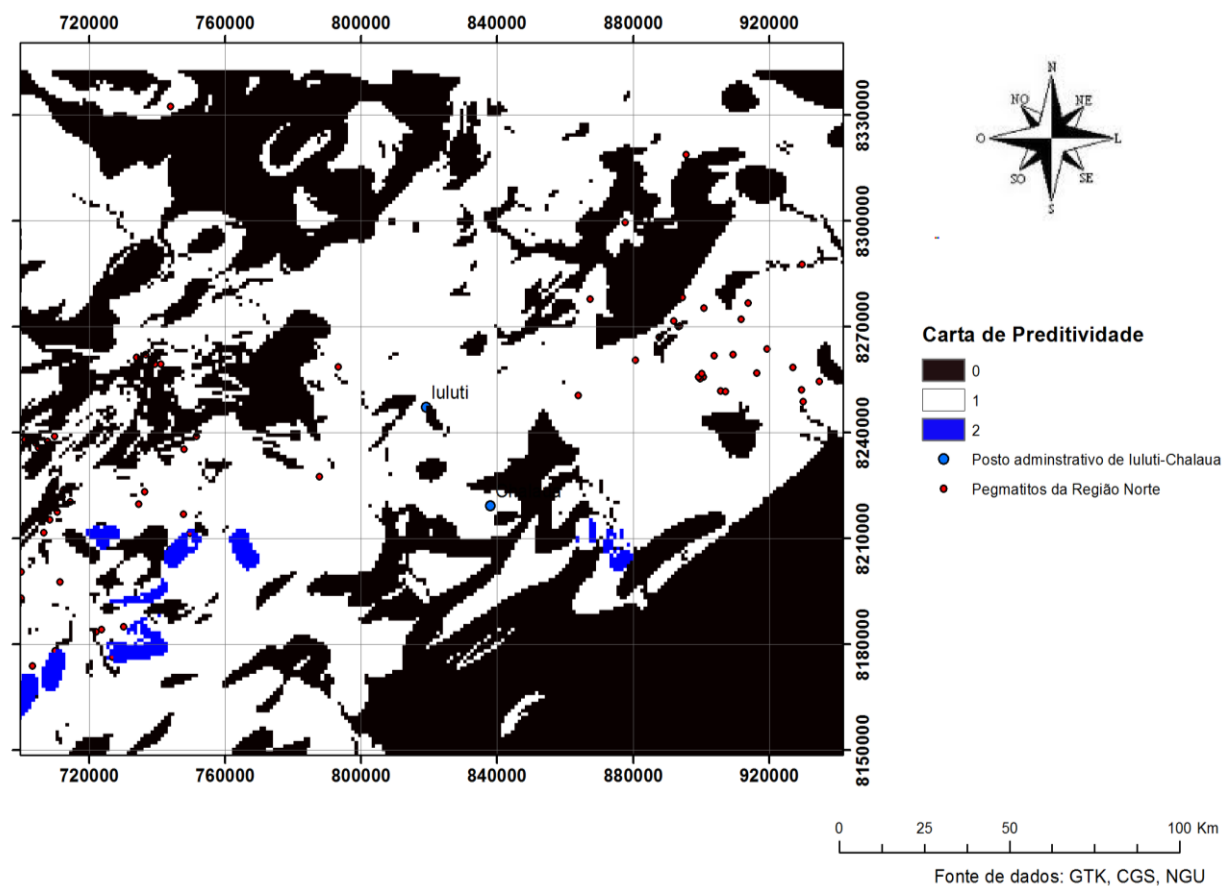


Figura 38: Mapa de preditividade da região, utilizando os critérios 1 e 2. (Pelo autor).

CAPÍTULO VI

Pegmatologia

6 Pegmatologia

Neste capítulo, faz-se uma abordagem sobre os modelos genéticos de pegmatitos, e sua classificação, características apresentadas dos mesmos, seus indicadores de bolsadas, com base em estudos científicos publicados, alguns relacionados com os pegmatitos da região de Alto Ligonha, sugerindo um modelo de evolução dos pegmatitos de Mogovolas, trazendo uma sistemática de pesquisa utilizada nos pegmatitos de Mogovolas-Iulute

6.1 Modelo Genético dos pegmatitos

O termo pegmatito foi utilizado pela primeira vez pelo padre R. J. Haiüy, em 1801 (Carvalho, 2004) para designar as rochas apresentando intercrescimento geométrico de quartzo e feldspato. Desde então, novas designações vêm sendo propostas levando-se em consideração aspectos mineralógicos, geológicos, genéticos, etc. A Tabela 14 apresenta, resumidamente a denominação do termo pegmatito de acordo com alguns autores.

Os pegmatitos têm sido objecto de diversas classificações tendo por base diferentes critérios.

O mais aceite é o de Černý (1991), que é baseada na classificação de autores Russos. Esta classificação diferencia quatro classes principais: abissal, moscovíticos, de elementos raros e miarolíticos, apresentado na (tab.16).

Atualmente considera-se pegmatito, uma rocha proveniente de fonte ígnea ou metamórfica, caracterizada tanto pela textura quanto pela granulometria grossa, destacando-se as dimensões dos cristais e a presença de minerais raros de aproveitamento económico (Carvalho, 2004).

A génese dos pegmatitos tem sido objeto de alguma controvérsia. Factos observados no campo têm impedido a generalização de modelos genéticos. Os modelos genéticos mais consensuais são os que consideram a génese dos pegmatitos a partir da fracção de intrusões graníticas e anatexia de rochas metamórficas de elevado grau (Simmons et al., 2003).

Para o aprofundamento dos modelos genéticos clássicos, foram usados modelos propostos por (Černý, 1991):

- **Modelos anactéticos**, em que as propostas anactéticas no sentido estrito variam em detalhe, mas todas elas exprimem a mesma ideia. A maioria delas apelam para a fusão parcial de metassedimentos ricos em Li, que presumivelmente faria aparecer um

magma rico em Li a temperaturas mais baixas que as mínimas para um sistema haplogranítico. Isto explicaria a posição típica dos pegmatitos litiníferos em graus mais baixos do gradiente metamórfico regional, relativamente aos pobres em Li ou mesmo estéreis e granitos associados. Os pegmatitos são considerados produtos de fusão parcial de baixa percentagem a baixas temperaturas, onde os granitos associados são interpretados como produtos de mais alta percentagem de fusão, presumivelmente gerados mais tardiamente no mesmo evento anactético progressivo.

Alguns autores atribuem a formação de alguns pegmatitos ao processo de fusão parcial (anatexia), na base da crosta continental, de rochas pré existentes, o que acarreta a formação de líquidos aquosos, super aquecidos e enriquecidos em Si, Al, podendo ter Fe e, mais raramente, elementos raros.

- **O modelo hidrotermal de fluídos mineralizados sobre uma matriz estéril,** considera a circulação de fluídos quentes ("heat engine"), e deriva da teoria da génese hidrotermal de minérios de sulfuretos. Assim o modelo considera que os pegmatitos quartzo-feldspáticos são de origem magmática, mas a mineralização dos elementos raros é posterior e resultante da ação de soluções aquosas, que se encontram em circulação devido ao efeito termal dos granitos associados. Os elementos raros são lixiviados da rocha encaixante metamórfica, sendo de seguida depositados em pegmatitos já solidificados quando o efeito termal baixa ou misturados com os magmas pegmatíticos.
- **O modelo de diferenciação magmática:** Em contraste com as hipóteses anactéticas e hidrotermais anteriormente revistas, o conceito da geração de pegmatitos de elementos raros por diferenciação magmática de intrusões graníticas, é segundo Černý, bem suportada por muitos argumentos físicos de campo, critérios geoquímicos e de petrologia experimental (acção combinada entre a cristalização fraccionada e diferenciação gravítica).

Apesar do modelo genético dos pegmatitos mais aceite ser o que envolve a cristalização fraccionada de um magma granítico, existem alguns aspectos texturais de alguns pegmatitos que não se adequam a este modelo. As taxas de arrefecimento calculadas por (Simmons & Webber, 2008) para pegmatitos de menor profundidade mostram um arrefecimento muito rápido em relação ao previsto, e, portanto, o maior tamanho dos cristais não está, provavelmente relacionado com o arrefecimento lento.

A cristalização do quartzo e dos feldspatos é predominante nos primeiros estágios da formação do pegmatito. Estas fases não incorporam os voláteis na sua estrutura que, portanto, acumulam-se e tendem a diluir no magma (Moiana, 2010).

Tabela 14: Várias definições do termo pegmatito de acordo com diversos autores (César-Mendes 1994, Marciano 1995, Gandini 1999) adaptado por Carvalho 2004

Autor-ano	Conceito
Haüy (1801)	Rocha apresentando intercrescimento geométrico entre quartzo e feldspato
Brogniart (1813)	Granitos com textura gráfica.
Delesse (1849)	Qualquer rocha granítica de granulometria grosseira.
Nauman (1854)	Rochas de composição granítica e granulometria grosseira.
Bastin (1911)	Rochas de composição granítica e granulometria grosseira apresentando irregularidade do tamanho dos grãos.
Kemp (1924)	Rocha cimentada numa estrutura.
Schaller (1925)	Rocha formada a partir de uma rocha ígnea, onde o hidrotermalismo teria um papel muito ativo.
Fersman (1931)	Associou os pegmatitos graníticos a corpos filonianos, cristalizados entre 700 e 350°C, cuja granulometria é notavelmente grosseira.
Landes (1933)	Rochas intrusivas holocristalinas cujos tamanhos dos minerais formadores são maiores do que os presentes em seus correspondentes plutônicos
Jahns (1955)	Acrescentou à ideia anterior características como fenómenos de substituição e zoneamento dos corpos.
Brisbin (1986)	Sofre influência da pressão de fluido pegmatítico, das condições de plasticidade, pressões litostáticas, reologia, etc.

6.1.1 Bolsadas e Cavidades Miarolíticas

Um dos edifícios que preserva cristais de gemas com faces bem desenvolvidas são as bolsadas pegmatíticas. Bolsada pegmatítica é uma massa rochosa que ocupa domínios pequenos e irregulares dentro dos corpos ígneos cogenéticos. É facilmente distinguível das rochas adjacentes através de algumas características tais como, forma euédrica dos cristais e existência de cavidades que podem estar vazias ou preenchidas, parcial ou totalmente, por minerais de argila (Moiana, 2010). Sendo assim as cavidades podem ocorrer nas partes interiores dos pegmatitos zonados, estão mais dispersas e são menos abundantes em pegmatitos homogêneos, características dos pegmatitos de Iuluti-Chalaua.

O seu desenvolvimento é atribuído à influência dos fluídos hidrotermais de vários tipos e origens, durante o último estágio da cristalização do pegmatito e pode ser comparado às porções miarolíticas de vários plutônicos normais (Jahns, 1982).

Os minerais mais abundantes nas bolsadas são: quartzo, feldspato K, albite e moscovite. Várias combinações de minerais tais como, apatite, berilo (e outros minerais de berílio), carbonatos, minerais de argila, fluorite, granada, lepidolite, prehnite, topázio, turmalina e zeólitos, estão, também, representadas nas cavidades de vários distritos pegmatíticos. Algumas bolsadas são caracterizadas pela ocorrência local de minerais de As, B, Be, Bi, Cs, Fe, Mn, Nb, Ta, P, Rb, Cs, Sn, Th, Ti, U, Zr, TR e minerais de outros elementos, singularmente ou combinados (Jahns, 1982).

Vários minerais destes elementos formam cristais de qualidade gemológica. Alguns foram apresentados no capítulo da geoquímica. As bolsadas primárias representam a segregação do fluido residual aquoso. Estas bolsadas são mais comuns e de maior tamanho e, ocorrem, geralmente, na parte central dos corpos pegmatíticos, frequentemente fora do núcleo de quartzo.

As bolsadas primárias formam-se no estágio final da cristalização dos fluídos magmáticos. Tendem a localizar-se na zona intermédia, na margem do núcleo ou no seu interior. À medida que o líquido magmático residual se enriquece em voláteis pode dar-se a exsolução de um fluido menos denso e menos viscoso, importante para a formação de bolsadas primárias. A existência de um magma inicial rico em voláteis e a prevalência de uma baixa pressão confinante são as condições necessárias para a imiscibilidade fluída referida (Moiana, 2010).

As bolsadas secundárias ocorrem por substituição de minerais primários, ou cristalização posterior à introdução da água meteórica ou hidrotermal no pegmatito. Estas podem conter minerais secundários, alguns de interesse gemológico (bertrandite e hidroxilherderite). (Moiana, 2010).

6.2 Classificação de Pegmatitos

Existem diversas maneiras de se classificar os corpos pegmatíticos, as quais levam em consideração vários aspetos, tais como: forma, tamanho, disposição em relação as encaixantes, mineralogia, génese, estrutura e textura interna. Geralmente, estas classificações agrupam dois ou mais aspetos. Os corpos pegmatíticos caracterizam-se por apresentarem uma grande variedade de formas, dimensões, orientações e disposição segundo as suas encaixantes.

Levando-se em consideração características mineralógicas, os pegmatitos podem ser classificados em ácidos, intermediários e básicos que, por sua vez, ainda podem ser simples ou complexos (Landes, 1933).

Quanto às características texturais estes se classificam em homogêneos, de textura uniforme, e heterogêneos com alto grau de diferenciação textural, apresentando zonamento interno (Johnston Jr. 1945).

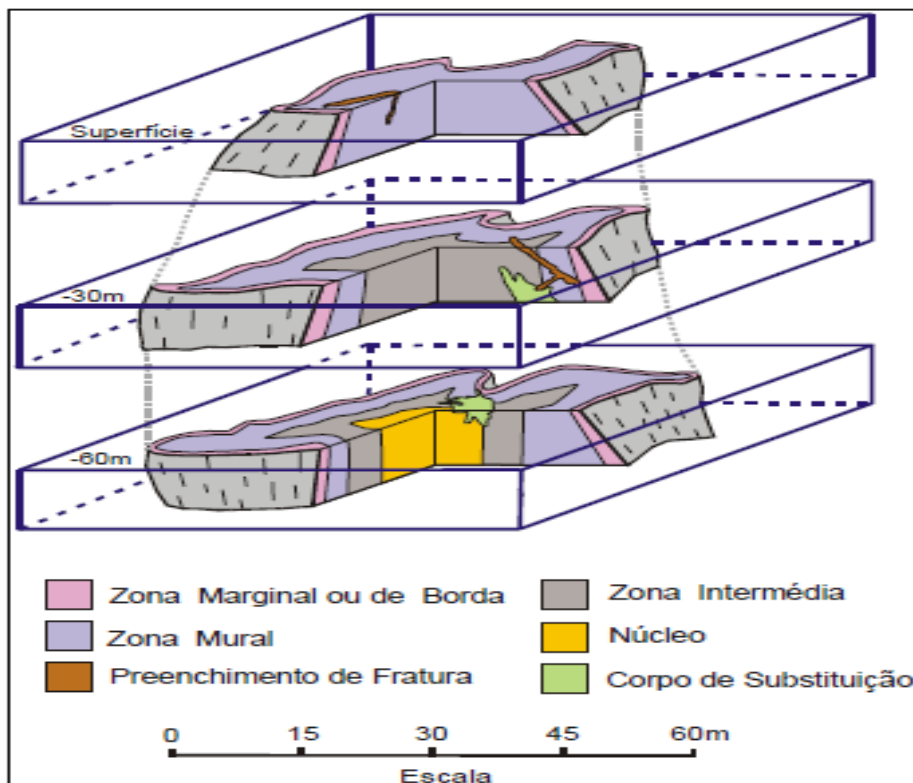


Figura 39: Bloco-diagrama representando a estruturação interna básica dos corpos pegmatíticos zonados e a relação entre as zonas (modificado de Gandini 1999).

Segundo Cameron et al. (1949), os pegmatitos podem ser classificados em zonados e não zonados, de acordo com os aspetos texturais e composição mineralógica. (Figura 39). Os

corpos zonados caracterizam-se por apresentarem camadas concêntricas sucessivas, denominadas:

- a) Zona de borda ou marginal;
- b) Zona mural;
- c) Zona intermediária;
- d) Núcleo.

Análise da geologia regional dos Pegmatíticos de Norte de Moçambique (PNM) permite tirar algumas conclusões:

- Feições correlacionáveis, com regularidade de condicionamento geológico;
- Definição de ambientes favoráveis para localizar depósitos de feldspato, berilo, mica, quartzo, minerais de metais raros e gemas;
- Repetição com pequenas variáveis nas principais Províncias

Os pegmatitos são formados por condições termodinâmicas e geoquímicas constantes, expressas na homogeneidade geológica das diversas Províncias. Logo, torna-se natural a conclusão de que esses depósitos repetem na escala de detalhe esse tipo de controlo, refletido na relação de contacto com a rocha encaixante, nas formas, dimensões, texturas, estruturas internas e, por conseguinte, na concentração e distribuição do minério (Cameron et al., 1949).

Duas hipóteses têm explicado a origem dos pegmatitos, produtos da cristalização de líquidos gerados por fusão parcial (anatexia) e são produtos da cristalização fracionada de magmas graníticos, por London (2005).

Proponentes da primeira hipótese citam três fatores favoráveis a ela: a dificuldade de relacionar magmas de composições altamente evoluídas a uma química comparativamente primitiva, como seria a das prováveis fontes plutónicas, e a tendência de alguns grupos de pegmatitos assemelharem-se às rochas hospedeiras, no que diz respeito aos elementos maiores, e o isolamento comum de alguns diques de pegmatitos muito longe de qualquer fonte plutónica. Um dos problemas sempre abordados no estudo dos pegmatitos é a questão da origem dos zonamentos. A evolução dos pegmatitos complexos envolveria uma sequência de estádios metassomáticos com enriquecimento gradual no teor em álcalis, encerrando-se com um processo metassomático tardio graças à circulação de soluções aquosas ao longo das fissuras (Neto et al, 2008).

6.2.1 Classificação de pegmatitos no Norte de Moçambique

N. Obretenov (1978), menciona a divisão dos jazigos pegmatíticos nesta região Norte de Moçambique, em 4 tipos segundo a composição mineral:

- Pegmatitos sodalíticos-zonais, distinguidos pelo conteúdo de berilo, columbo-tantalites, microlite, turmalinas, vários minerais de lítio, cassiterite, topázio entre outros. Este tipo de pegmatitos ocorre nos territórios de Alto Ligonha, Mocuba, Muiane, Marige, Naipa, Nahira, Murrupula, Nauro, Morrua, Moneia.
- Pegmatitos potássicos-zonais, nos quais a zona potássica é bem desenvolvida. Os principais minerais úteis são o feldspato potássico, berilo e a mica. A este grupo pertencem Nuaparra, Mugeba, Igaro, e também na região de Iuluti e Chalaua.
- Pegmatitos potássicos-zonais, ricos em minerais metamistos U, Th e TR. Jazigos de Boa Esperança, Gurue. Com esse estudo conclui-se que em Iuluti e Chalaua, também ocorrem esse tipo de pegmatitos, na licença 4029 e 4020.
- Pegmatitos heterogéneos com amazonite na região de Monapo.

Os pegmatitos com bom desenvolvimento e zonalidade, rico em mineralizações ocorrem principalmente nos gnaisses anfibolíticos-biotíticos, nos anfibolitos e outras rochas mais básicas, o caso dos pegmatitos encontrados na licença 4029, 4020, 4030, e as amostras com o mesmo número. Nos gnaisses ácidos e nos granitóides encontram-se pegmatitos de fraca mineralização e pegmatitos normais, como as amostras NA-01 e G-13, ambos localizado em Mogovolas, comprovada pela geoquímica da rocha total e mineral.

Do ponto de vista morfológico, os pegmatitos podem ser divididos em três tipos, segundo N. Obretenov (1978):

- Corpos de forma lenticular, os quais alcançam na superfície áreas até de 1 km² (Munhamo, Morrua), tem na maioria dos casos inclinação de 20° e a possança até de 50 m, sendo todos discordantes;
- Diques com grandes inclinações de 40-80°, 100-1200 m de comprimento, com a possança de 5-60 m. Na maioria dos casos são discordantes. Como exemplo podem servir os jazigos de Moneia, Murropoce, Merrapane, Nauro.
- Corpos de tipo complexo, os quais são a combinação de ambos os tipos precedentes. A maioria dos jazigos até agora explorados pertencem a este tipo (Muiane, Naipa, Marige, Nuaparra, Merrapane, Namora, Insule, Namacotche, etc).

Os pegmatitos do Alto Ligonha são classificados de acordo com a sua composição e estrutura interna dando uma indicação do grau de fraccionação e o potencial económico dos mesmos (Macuácua, 2010).

Os pegmatitos da região de Namacotche, indo até ao Mogovolas-Moma, pertencem à família de LTC (Neiva & Gomes, 2010) e podem ser subdivididos em quatro tipos (Macuácua, 2010), detalhados na classificação dos pegmatitos por N. Obretenov (1978).

Os pegmatitos sodalíticos são os mais fracionados e economicamente mais importantes da região com concentrações importantes de columbo-tantalite, berilo e lítio e incluem grandes regiões de ocorrência de pegmatitos tais como Muiane, Naipa, Morrua e Marropino (Cronwright, 2005; Macuácua, 2010).

Esquemáticamente, a chave da classificação estruturada pode representar-se do seguinte modo:

1. Pegmatitos Homogéneos

- Com composição modal simples, contendo duas micas ou só biotite. A turmalina negra é frequente e o berilo pode aparecer acidentalmente como elemento de rocha. (Plagioclase e feldspato alcalino).

2. Pegmatitos Zonados Simples (predominância de feldspatos potássicos, microclina> ortose. Albitização fraca a moderada).

- Com abundância de monazite e de niobatos, tantalatos complexos e Elementos de Terras Raras (ETR).
- Com berilo comum e/ou columbite.

3. Pegmatitos Zonados, complexos (feldspatos original predominantemente potássico, microclina> ortose. Albitização moderada a intensa) (ver Fig. 37).

- Com moscovite abundante, berilo comum e Columbo tantalite;

4. Pegmatitos zonados, complexos, sodalíticos (predominância de microclina-pertite e de albite, clevelandite, albitização).

- Com lepidolite e/ou espodumena, berilo comum e cristalino, tantalite ou tantalite-columbite, e microlite.

- Com espodumena, incluindo as variedades kunzite e hidenite, lepidolite, amblygonite e, mais raramente, petalite, eucryptite, berilo comum e cristalino, tantalite, microlite, polucite e turmalinas nobres.

O esquema apresentado por Barros, classifica os pegmatitos 1 em homogêneos e, 2, 3 e 4 em heterógenos. (Figura 40) É evidente que esta classificação, como aliás qualquer outra, fica extremamente valorizada quando se procede à integração dos pegmatitos nos respectivos campos e distritos pegmatíticos, pelas informações complementares a inferir das suas eventuais relações com a rocha encaixante e com os maciços graníticos na sua vizinhança.

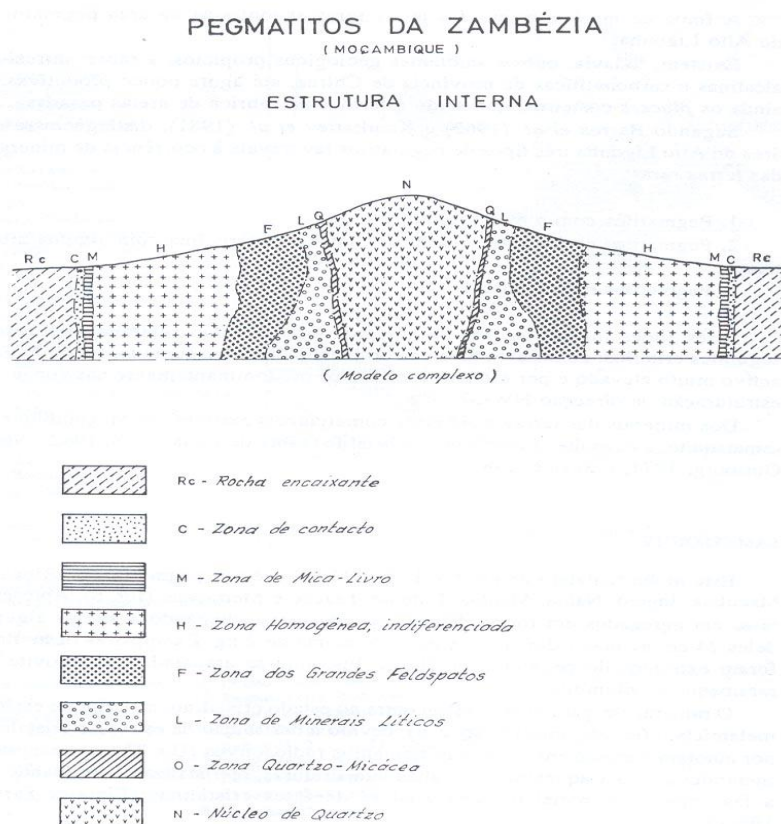


Figura 40: Estrutura interna dos pegmatitos da Zambézia (Barros et al., 1963), característica dos pegmatitos do Norte de Moçambique.

Morfológicamente os pegmatitos podem ser subdivididos em três categorias baseando na estrutura interna:

- Estruturas filonianas uniformes;
- Estruturas complexas, lenticulares;
- Estruturas zonadas.

Os pegmatitos da região Norte de Moçambique, concretamente em Mogovolas e Moma, ocorrem em:

1. Plutão granítico;
2. Terrenos gnaissicos;
3. Zonas de cisalhamento.
4. Zonas de alteração.

Abaixo apresenta-se a generalidade de classificação dos pegmatitos, segundo Cameron (1949), Solodov (1959), e Černý (1991).

Classificação de Cameron, divide os pegmatitos em corpos não diferenciados, corpos diferenciados, não zonados, zonados, simétricos, e assimétricos. Os homogéneos que apresentam os minerais essenciais como quartzo, feldspato e mica, que se distribuem regularmente ao longo do corpo. Possuem formas tabulares, às vezes medem quilómetros de extensão e largura que não ultrapassa os 5 metros, a granulometria dos minerais varia de centimétrica a decimétrica, com intercrescimento gráficos de quartzo e feldspato comuns.

Enquanto os Heterogéneos, são lenticulares, arredondados ou em forma de disco achatado, comprimento não ultrapassa 700m e largura não superior a 200m, com os minerais essenciais dispostos de maneira irregular, formando estrutura basicamente de 4 zonas dispostas simetricamente em relação ao centro do pegmatito. Incluindo os mistos que são intermediários entre homogéneo e heterogéneo e apresentam bolsões de quartzo ao invés de núcleos individualizados, semelhante à zona dos heterogéneos em torno desses bolsões de quartzo a granulação dos minerais aumenta bastante, bem como os que passam a predominar cristais de feldspato K.

6.2.1.1 Zoneamento em pegmatitos heterogéneos Cameron et al. 1949:

- a. Zona de contacto, ZC, (Border Zone): possui geralmente uma espessura inferior a 1m e caracteriza-se pela abundância de moscovite, em placas bem desenvolvidas, associadas principalmente ao quartzo e algum feldspato. A zona 1 é mais desenvolvida nos pegmatitos encaixados em xistos, do que nos quartzitos. Os minerais acessórios mais comuns são cassiterite, e esporadicamente granada.
- b. Zona de Parede, ZP (Wall Zone): possuem a mesma granulação composição e estrutura de um pegmatito homogéneo, inclusive a frequência de intercrescimento gráficos de quartzo e feldspato. Geralmente ocupa o maior volume de um corpo

pegmatítico e, às vezes, encobre toda a sua parte superior confundindo-se com o tipo homogéneo.

- c. Zonas Intermediárias, ZI (Intermediates Zones), zona intermediária externa, (ZIE), zona intermediária média (ZIM), zona intermediária interna (ZII), zona de margem de núcleo: subdivide-se em externo e interno. O externo representa uma passagem gradual com a zona b, ou zona da parede, com frequência de turmalina e granada, enquanto o interno caracteriza-se principalmente pela presença de microclina pertítica em cristais gigantes (dimensões métricas). Desta zona procede a maior parte do berilo, tantalite, espodumena e outros minerais acessórios.
- d. Zona de Núcleo (Core Zone): constituída por um núcleo de quartzo maciço de cores variadas (róseo, leitoso, hialino, cinza, azul, etc.), disposto simetricamente ou não em relação ao corpo pegmatítico. Pode-se apresentar regular, irregular ou disseminado em volumosos blocos isolados dentro do pegmatito. Muitas vezes apresentam uma direção diferente do pegmatito e intenso fraturamento. A maioria dos minerais acessórios é encontrada no núcleo ou no contacto deste com a zona c (zonas intermediárias).

As associações mineralógicas, segundo Cameron, ou seja a sequência paragenéticas em pegmatitos zonados são: Plagioclase-quartzo-moscovite, Plagioclase-quartzo, Quartzo-pertite-Plagioclase, com ou sem moscovite e/ou biotite, Pertite-quartzo, Pertite-quartzo-Plagioclase-amblygonite-espodumena, Plagioclase-quartzo-espodumena, Quartzo e espodumena, Lepidolite-plagioclase e-quartzo, Quartzo-microclina, Microclina-Plagioclase-micas de Li (lepidolite) - quartzo e por fim o Quartzo.

Solodov, classifica os pegmatitos levando em consideração os minerais essenciais, formadores de pegmatitos graníticos, portadores de elementos raros. Os minerais microclina, albite e espodumena foram escolhidos com base na classificação porque constituem, junto com o quartzo, 90-95% do volume, são facilmente identificáveis no campo, e suas proporções variam significativamente, facilitando seu uso de forma visual no campo.

Os pegmatitos do tipo albite-microclina são os mais propícios para metais raros, principalmente da zona de albitização para os estágios mais tardios. O resumo de todas estas características e classificações é apresentado nas tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15: Classificação e características morfológicas e económicas dos pegmatitos, segundo N.Solodov (1959)

Características	Pegmatitos a microclina	Pegmatitos a albite microclina	Pegmatitos a albite	Pegmatitos a albite-espodumena.
Microclina Albite Espodumena Quartzo	60-70 < 5 - 23-26	25-35 25-35 < 10 25-30	< 10 35-45 < 10 30-40	< 10 35-45 15-25 30-35
Quantidade de zonas internas que podem ocorrer	5	13	6	4
Grau de zonalidade	Regular	Nítido	Muito nítido	Pobre
Forma do corpo do pegmatito	Lentes e bolsões	Lentes e veios	Sempre em veios	Veios bem tabulares
Comprimento	100-200m 500-700m	500-700m	100-200m	2-3 km
Espessura	3-5 Raro até 10m 5-10m	5-10m	20 a 30 vezes até 50m	40 a 60, as vezes menos que 30m
Distância da intrusão	Os mais próximos do campo	Próximos	Distantes	Os mais distantes do campo
Economicidade: geralmente os 4 são explorados em cerâmicas, coleção de amostras de mão, lavras de quartzo são comuns.	Pequenas lavras de berilo, inclusive (gemas águas marinhas e turmalinas)	Muito berilo, tantalite, espodumena em depósitos complexos (gemas de águas marinhas e turmalinas)	Pequenas lavras de berilo e tantalite (gemas de águas marinhas e turmalinas).	Maiores depósitos de espodumena.

Tabela 16: Classificação dos pegmatitos abissal com Moscovite, REE, e tipos Miarolíticos (Černý,1991).

Classe	Família	Elementos menores	Ambiente metamórfico	Relações do granito
Abissais	-	U, Th, Zr, Nb, Ti, Y, REE, Mo	Derivados de metamorfismo de alto grau, ~4,9kbar, ~700-800 °c	Sem agregação leocossoma anactética (corpos autóctones)
Moscovite	-	Li, Be, Y, REE, Ti, U, Th, Nb>Ta	Encaixados em mica xistos 2-4kbar, ~650-580 °c	Anatexia ou fraccionamento restrito de granitos
Elementos raros	LCT	Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Hf, Nb>Ta, B, P, F.	Metamorfismos de médio grau 2~4 kbar, ~650~500°c	Fracionamento em granitos alóctones
	NYF	Y, REE, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F	Variável	
Miarolítico	NYF	Y, REE, Ti, U, Th, Zr, Nb >Ta, F	Sub-vulcânicos e preenchem fraturas e bolsões	Granitos alóctones

Tabela 17: Classificação dos pegmatitos de classe de REE (Černý,1991)

Tipo de pegmatito	Subtipo Pegmatito	Assinaturas geoquímicas	Minerais típicos
Terras raras	Albite-Monazite	L (REE, U, Th)	Albite (Topázio), Monazite.
	Gadolinite	Y, (H) REE, Be, Nb>Ta, F (U, Th, Ti, Zr).	Gadolinite (Berilo) Fergusonite, Euxinite.
Berilo	Berilo-columbite	Be, Nb> Ta (\pm Sn,B)	Berilo, Columbite-tantalite
	Fosfato de Berilo-columbite	Be, Nb>Ta,P(Li,F \pm Sn,B)	Berilo columbite-tantalite Triflite trafilite.
Complexo (terras raras)	Espodumena	Li, Rb, Cs, Be, Ta>Nb (Sn, P, F \pm B).	Espodumena (ambligonite) Berilo (lepidolite) Tantalite (polucite)
	Petalite	Li, Rb, Cs, Be, Ta>Nb (Sn, Ga, P, F \pm B).	Petalite (ambligonite) Tantalite Berilo (lepidolite)
	Lepidolite	F, Li, Rb, Cs, Be, Ta>Nb (Sn, P \pm B)	Lepidolite Microlite Berilo Topazio (polucite)
	Ambligonite	P, F, Li, Rb, Cs, Be, Ta>Nb (Sn \pm B)	Ambligonite (Lepidolite) Berilo (Polucite) Tantalite
Espodumena-Albite	-	Li(Sn, Be, Ta>Nb \pm B)	Espodumena (Berilo) (Cassiterite) (Tantalite).
Albite	-	Ta>Nb, Be (Li \pm Sn,B).	Tantalite (Cassiterite), Berilo

Por fim Černý & Ercit (2005) introduziram uma nova classificação petrogenética que distingue 3 famílias de pegmatitos, baseado em Černý (1991) (Fig. 41):

1. Pegmatitos NYF, com concentração progressiva de Nb, Y e F (além de Be, TR, Sc, Ti, Zr, Th e U), fracionados a partir de granitos tipo A ou I, subaluminosos a metaluminosos, gerados por vários processos envolvendo uma crosta empobrecida e/ou contribuição do manto.
2. Pegmatitos LCT, peraluminosos, marcados pela acumulação proeminente de Li, Cs e Ta (incluindo Rb, Be, Sn, B, P e F), gerados a partir de granitos tipo S e, raramente, a partir dos granitos tipo I.
3. Pegmatitos LCT+NYF de diversas origens. O magma pode ser contaminado por rochas encaixantes que introduzem na fusão, não só Li e B, mas também Ca e Mg.

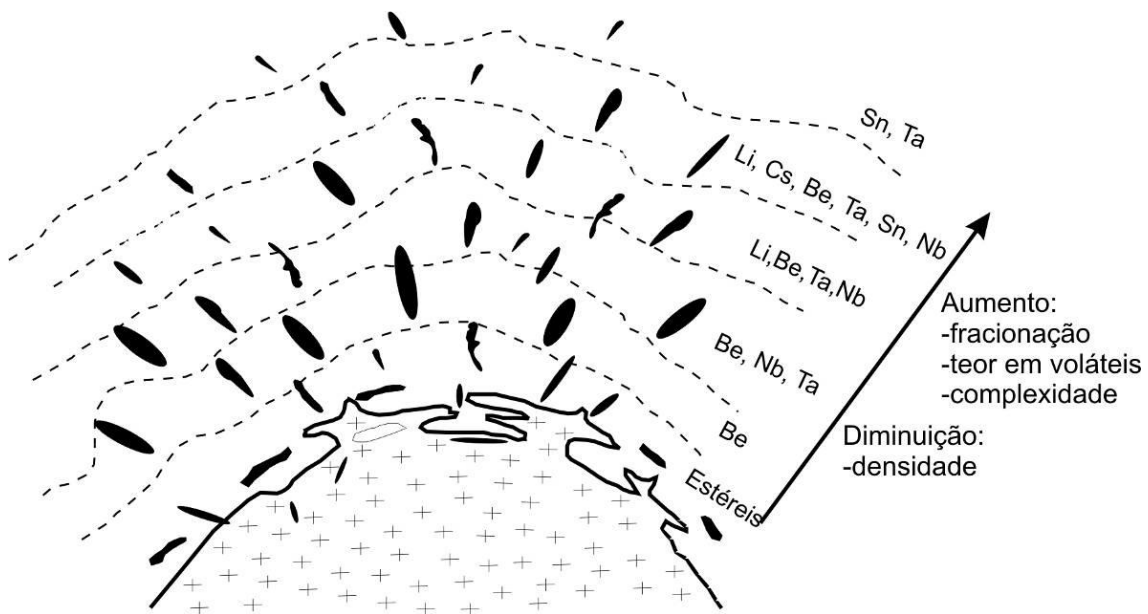


Figura 41: Representação esquemática da zonação de um campo pegmatítico do tipo LCT. Adaptado de Černý (1991).

As amostras G-13, NA-01, mostram evidências, de que os pegmatitos de Mogovolas-Moma, pertencem, família LCT, provenientes de um ambiente de médio e alto grau metamórfico, resultando de fracionamentos em granitos alóctones. Pegmatitos peraluminosos, marcados pela acumulação proeminente de Cs, incluindo Cr, Mn, Ni, Cu, Ga, Br, Sn, Rb, Zr, Nb, Ba, Nd, Ti, Pb, U, gerados a partir de granitos de tipo S e raramente a partir dos granitos do tipo I.

6.2.2 Tipologia dos Pegmatitos de Mogovolas-Iuluti

O pegmatito do Mogovolas é um corpo de grandes dimensões, portador de um zonamento caracterizado pela ocorrência dos minerais como turmalinas, berilos, e granadas com intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspatos na zona de bordadura. Grandes blocos de feldspatos pertíticos e quartzo constituem a zona intermédia.

O núcleo quartzoso apresenta transição cromática abrupta, de leitoso ao róseo. Ocorrem, ainda, zonas de alteração mais ou menos albíticas e argílicas que podem ser consideradas unidades tardias.(Figura 42).



Figura 42: Pegmatito potássico zonal, em Mogovolas. (Foto 1-Pegmatito escavado, 2-Granitos de Nampula, 3-Quartzto e feldspato).

Os pegmatitos situam-se no domínio do complexo de Nampula, posto de Iuluti, concessão mineira de EQM, pegmatitos com grandes núcleos de quartzo hialino que transita lateralmente para o róseo. Na zona intermédia é constituída pela associação feldspato potássico, quartzo, e em alguns com duas micas (biotite e moscovite).

O corpo pegmatítico de Mogovolas é lenticular, tem orientação NE-SW a E-W e está instalado em rochas encaixantes ortognaisses. Em alguns corpos é frequente a ocorrência de concentrações de minerais máficos no encaixante tais como: biotite, piroxena e anfíbolas (horneblenda).

A análise petrográfica, mostra nos granitoides a presença de microclinas, quartzo e rara calcite. Há a presença de granadas e anfíbolas, na sua maioria horneblendas.

Os pegmatitos começaram a ocupar um lugar de crescente significado desde que passaram a constituir a principal fonte de elementos menores e elementos-traço extremamente usados pela tecnologia contemporânea, como por exemplo o Li, Sc, ETR, Zr, Nb, Ta, Be, Cs e outros. (Afonso & Marques, 1998).

Os pegmatitos economicamente importantes estão geneticamente relacionados com um grupo de intrusões graníticas equigranulares, estando os pegmatitos instalados em rochas xistentas que rodeiam as intrusões (Afonso & Marques, 1998).

Duma maneira geral em Moçambique, embora os pegmatitos férteis ocorram episodicamente, em todas as formações Pré-câmbricas, existem áreas onde eles predominam, além da região do Alto Ligonha. São as áreas de M'Sawize (Niassa), Mazomboè (Tete), Inchope (Manica) e Mueda (Cabo Delgado). (Lachelt, 2004). Também a região de Mogovolas e Moma, é rica em pegmatitos economicamente viáveis.

6.2.2.1 Turmalinas em Pegmatitos.

São comuns, principalmente nos terrenos gnaissicos, pequenos corpos de pegmatitos, geralmente alterados a caulinos, com restos de quartzo, mica e turmalina pretas. Em quase todos os postos administrativos do distrito de Mogovolas e Moma, onde a empresa possui a concessão mineira (Maraca, Mavuco e Nanhumane), foram registados ocorrências de pegmatitos contendo turmalinas, com tamanhos de 1 cm a 10 cm (Fig. 43).

Algumas encontram-se confinadas em zona de cisalhamentos de direcção NW-SE. E outros corpos com turmalinas e ETR, está associada a zona de contacto, a encaixante e a depósitos coluvião e eluvião, em dois níveis de cascalho, sendo o primeiro com 2-3 m de profundidade, com seixos arredondados, com média inferior a 40 mm, enquanto o segundo nível, que está a 6 m de profundidade, apresenta seixos maiores não classificados e pouco arredondados.



Figura 43: Ocorrência de Pegmatitos com Turmalinas pretas em Mogovolas.

É difícil encontrar uma gema de Turmalina Paraíba semelhante à da Fig. 44, nessa região. Os poços produtivos encontram-se totalmente tapados, evitando a vandalização dos garimpeiros e a população. Consideradas variações de Elbaite (turmalina litínífera que vai de vermelho rosado a verde e incolor), ocorre na forma de pequenos "cristais" na maioria das vezes irregulares dentro de corpos pegmatíticos que na localidade estão encaixados em quartzitos. A mineralogia básica da rocha é de quartzo, feldspato (comumente alterado pela infiltração de água), lepidolite (mica lilás) e schorlite (também conhecida como afrizite ou turmalina preta) e óxidos de nióbio e tântalo (sequência columbite-tantalite).



Figura 44: Turmalina Paraíba. Fonte: Pessoa (2013).

Estas turmalinas, ocorrem em dois ambientes geológicos: rochas ígneas, em particular o granito e pegmatitos graníticos e nas rochas metamórficas como xistos e mármore. A schorlite e as turmalinas ricas em lítio são geralmente encontradas em granitos e pegmatitos graníticos, e as ricas em magnésio, estão limitadas em xistos e os mármore.

A turmalina sendo um mineral resistente, é encontrada em depósitos de coluvião e eluvião, em forma de grãos de areias, arenitos e conglomerados, em Mavuco e Maraca.

6.3 Sistemática de pesquisa utilizada nos Pegmatitos de Mogovolas-Iuluti

A empresa Quintos Mineração, está fazendo trabalho de prospeção geológica nessa região desde 2011, dedicando-se ao estudo dos pegmatitos na região Norte de Moçambique. Os pegmatitos são fontes de diversos produtos economicamente interessantes, tais como: feldspato, mica, berilo, quartzo, minerais de lítio (espodumena, petalite, amblygonite, trillite, jadeite, elbaite), columbite-tantalite, gemas, numa série entre as turmalinas, águas marinhas, esmeraldas, granadas, topázio, etc.

Carecendo ainda de estudos relacionados com as viabilidades económicas e o cálculo de reservas, sendo consideradas erráticas e sem possibilidades de avaliação, foi desenvolvida uma sistemática de pesquisa (Fig. 45) que fornece informações na avaliação económica de um pegmatito e possibilita o planeamento de lavra, minimizando os riscos para sua implantação.



Figura 45: planta de processamento da Empresa Quintos Mineração, instalada no posto administrativo de Iululi-Mogovolas

Tanto para os corpos pequenos quanto para pegmatitos de várias centenas de metros de comprimento e várias dezenas de espessuras, os trabalhos mostraram-se satisfatórios, pois forneceram dados sobre o tamanho, constituição mineralógica, estruturas internas e texturas.

Não foi possível a previsão de locais onde se situavam os corpos de substituição, locais favoráveis para a ocorrência de minerais valiosos, a empresa ainda está numa fase embrionária da pesquisa e alguns poços positivos, encontram-se tapados com areias para evitarem serem vandalizados pelos garimpeiros, e a população dessa região.

6.3.1 Reconhecimento da Área de Estudo

As licenças da prospeção estão localizadas nos distritos de Mogovolas e Moma, sendo a 4029L (280 Ha=2,800 km²), 4030L (1130,33Ha= 11,303 Km²), e 3892L (240Ha= 2,400 km²), na qual engloba uma faixa de granitoides, inselbergs, com instalações dos conjuntos pegmatíticos, controlada por lineamentos NNE-SSW e NNW-SSE e a dimensão e morfologia dos pegmatitos são influenciadas por carreamentos que também induziram nas rochas encaixantes uma foliação sub-horizontal (Afonso, 1978).

Os afloramentos de rochas aparecem na forma de uma capa de rocha que recobre o terreno ou na forma de acumulação de blocos e matacões ao longo na sua base (Fig. 46).

Os afloramentos de rocha na forma de capa são comuns nos trechos mais íngremes das encostas ou em antigas praias. Os afloramentos rochosos aparecem quase em todas as áreas de crista e nos topos da região Norte, planalto de Moçambique.



Figura 46: Blocos de granitoides a sudeste da licença 4030

Os pegmatitos explorados são irregulares, embora predominem em forma de pequeno batólito, filão ou lentícula. São frequentemente zonados contendo um núcleo predominantemente quartzoso, uma zona intermédia com quartzo e feldspato grosseiro por vezes com berilo,

turmalinas pretas, e mica e uma zona periférica com quartzo, feldspato e mica de granulado fino.

Os pegmatitos foram descritos, observando-se principalmente: relação pegmatito/encaixante, forma e tamanho do corpo, classificação, unidades estruturais visíveis, textura e mineralogia de cada estrutura. O mapeamento geológico possibilitou a interpretação dos locais favoráveis à ocorrência dos pegmatitos de maior interesse, relações entre as anfíbolas e as rochas graníticas, e os granitoides, e enfim, o esclarecimento do contexto geológico regional.

Os pegmatitos foram descritos e classificados segundo nomenclatura existente na bibliografia referente a região Norte de Moçambique, nomeadamente Alto Ligonha, segundo N. Obretenov (1978), Barros (1983) e Macuacua (2010).

- Pegmatitos Homogéneos;
- Pegmatitos Heterogéneos (não zonados e zonados, os zonados podendo ser simétricos e assimétricos).

Para as texturas (Tabela 18), utilizou-se a classificação aplicada por Cameron et al (1949):

Tabela 18: Textura dos pegmatitos na região de Iuluti (Mogovolas).

Texturas	Intervalos
Muito Fina	< 0,5 cm
Fina	0,5 – 2,0 cm
Média	2,0 – 10,0 cm
Grosseira	10,0 – 30,0 cm
Muito Grosseira	30,0 – 100,0 cm
Maciça	> 100,0 cm

Quanto às formas encontradas, foram descritas: tabulares, lenticulares, ramificadas, complexas. Para a classificação quanto ao tamanho, levou-se em consideração a espessura. Assim, foram divididos em:

- Muito pequenos – até 0,5 cm de espessura
- Pequenos – 0,5 m a 5 m
- Médios – 5m a 50 m
- Muito grandes – com mais de 50 m de espessura

Na denominação das estruturas internas utilizou-se a nomenclatura de Cameron, et al (1949): zona de contacto, zona de parede, zona intermediária externa, média e interna, núcleo, bolsões de substituição e preenchimento de fraturas.

6.3.1.1 Mapeamento Geológico de detalhe na Escala 1:9000 e 1:7639

Nos corpos seleccionados (Fig. 47 e 48), considerados mais importantes economicamente pela sua provável reserva, segundo a EQM foi realizado levantamento topográfico e mapas plani-altimétricos, permitindo conferir as dimensões reais do terreno, mensurando os alinhamentos das construções próximas, localizações e especificações de espécies, quantificando os desníveis existente da área de estudo, sendo possível observar em formas de curvas de nível e perfis topográficos, situação do terreno em relação aos terrenos e em relação aos acessos (ruas e rodovias), dando base para cálculos de terraplanagem, tendo uma variação entre 180-240 metros de altitude.

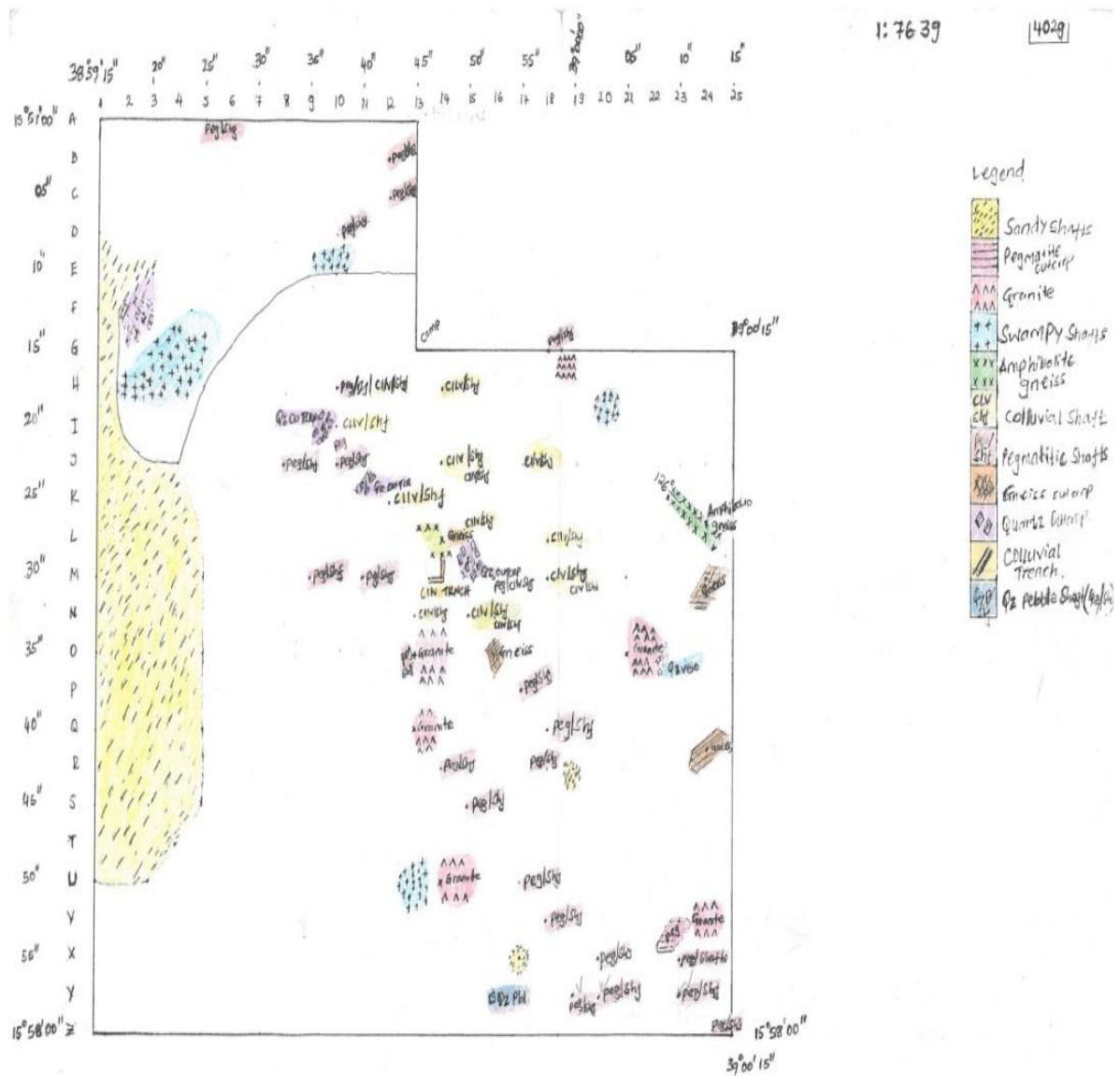


Figura 47: Mapa de detalhe elaborado na altura de recolha das amostras na licença 4029

Com as informações de superfície, como afloramentos de zonas expostas, alinhamento de blocos de quartzo, atitude da foliação da encaixante (no caso de corpos concordantes) e das escavações existentes, foi possível a delimitação dos corpos, suas formas em superfície e a delimitação aproximada das zonas.

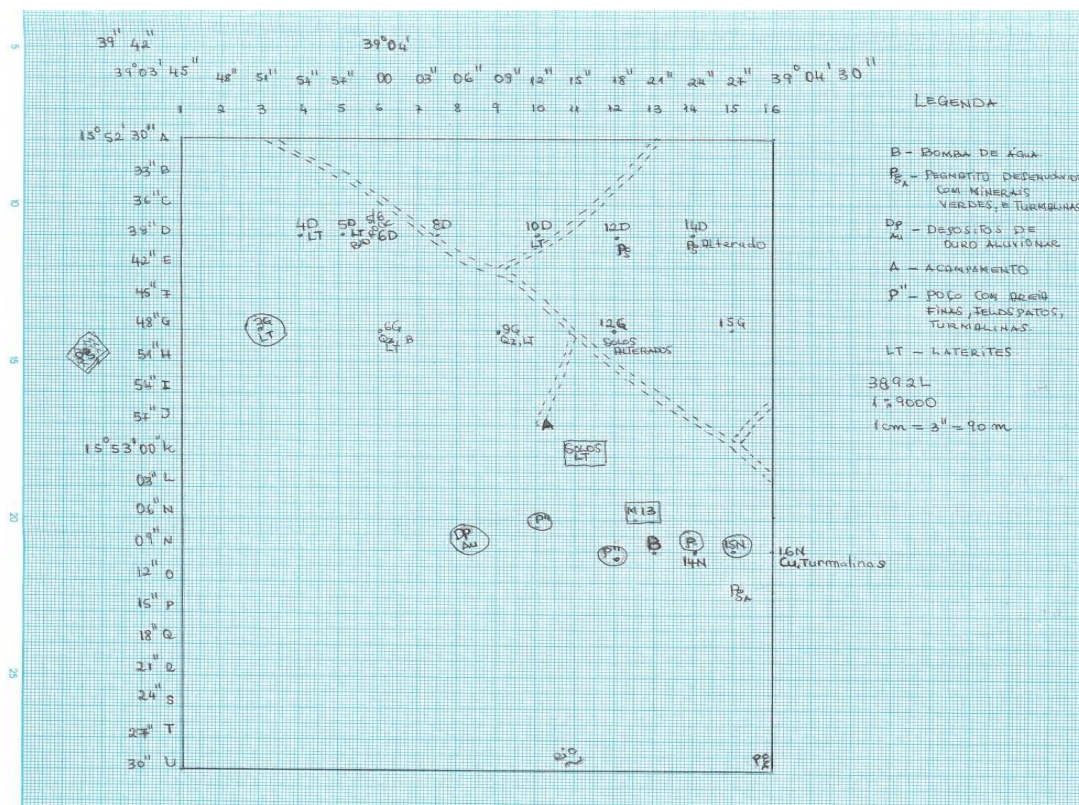


Figura 48: Mapa de detalhe elaborado na altura de recolha das amostras na licença 3892.

Nos corpos selecionados acima, considerados mais importantes economicamente pela sua provável reserva, foi realizado levantamento dos dados, com base no GPS, lançado em escalas de 1:9000 e 1:7639, com uma separação altimétrica entre os 5 m ou 10-20 m, em quase todas as escavações e afloramentos existentes na região.

Sendo assim, devido a exposição dos inselbergues, a superfície de erosão expõe níveis diferentes dos pegmatitos, revelando sensíveis variações de composição no sentido vertical. (Barros, 1983) (Tab. 19).

Tabela 19: Altimetria de alguns poços e escavações da área de estudo

Poço	Latitude	Longitude	Licenças	Altitude (m)	Localidade
M14	-15,5730	38,5748	4029	236	Nanhumane
3G	-15,5248	39,0351	3892	181	Maraca
G13	-15,9542	38,9958	4029	229	Nanhumane
5D	-15,5240	39,0357	3892	187	Maraca
16N	-15,5310	39,0430	3892	181	Maraca
4030	-15,5715	38,5958	4030	180	Mavuco
G-14	-15,5715	38,5947	4029	226	Nanhuame
4029	-15,5740	39,0026	4029	220	Nanhumane
NA-01	-15,5723	38,5950	4029	215	Nanhumane

Os chamados depósitos **eluviais de Iulute** permitem a acumulação de sedimentos, provenientes da decomposição de rochas, que permanecem na mesma área (Fig. 49).



Figura 49:Depósitos eluviais, no distrito de Mogovolas

Por outro lado, todo o campo pegmatítico sujeito à ação conjugada de dois focos, definido numa pequena zona de afloramentos granitos gnaissicos, fortemente biotíticos, a sul de Naipa, todavia, algumas unidades do referido campo parecem ser igualmente afetadas por um segundo foco, pegmatito localizado a ocidente do Nanro, com consequente modificação das características gerais dos pegmatitos deste sector, refletindo uma espécie de telescoping, que é um reencontro e sobreposição de metais e minerais habitualmente separados em condições normais de formação (Barros, 1983).

Entretanto os sedimentos colúvio-aluvionares, de idade provavelmente pleistocénica, aparecem comumente na forma de rampas constituindo os depósitos dos sopés de vertente e aluviões sub-atuais. Formados também por material fragmentário, subanguloso, mal classificado, com variações desde cascalhos até blocos com 2 a 3 metros (ou maiores), geralmente envolvidos em material alterado, argiloso a arenoso, com cores tendendo ao vermelho.

7 Conclusões

A área de estudo localiza-se no posto administrativo de Iuluti e Chalaua, constituída por rochas gnaíssicas Mesoproterozóicas de médio a alto grau de metamorfismo, pertencentes ao Complexo de Nampula, retrabalhados durante a orogenia Pan-Africana e intruídos por granitoides e pegmatitos gerados na última fase do Pan-Africano (Paleozóico Inferior).

Os resultados obtidos pela microsonda, caracterizam as amostras em anfíbolas (4029), granitoide-anfibólico, rico em piroxénio (4020), pegmatito rico em albite (4030), granito rico em albite, simples e homogéneo (G-13) e granito (NA-01).

Os dados obtidos no decorrer deste trabalho, com as diversas etapas, desde trabalhos de campo e gabinete (estudos petrográficos, estruturais, geoquímicos, e por SIG) e o estudo bibliográfico comparativo dos pegmatitos, permitem as seguintes considerações:

- As amostras colhidas em Iuluti-Chalaua correspondem a séries alcalinas, e calco alcalinas, localizadas no complexo de Nampula, perto do cisalhamento de Mamala, caracterizada maioritariamente por granitos gnaissicos e leucogranitos gnaíssicos;
- As amostras G-13 e NA-01, possuem um carácter peraluminoso, com $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$, enquanto a amostra 40-29 possui um carácter metaluminoso, com $Al_2O_3 < Na_2O + K_2O + CaO$, sendo totalmente básica.
- Os padrões de ETR mostram que as rochas máficas e félsicas são enriquecidas em ETRL em relação ao ETRP, apresentando La, Ce, Nd. Os diagramas de spider, exibem picos de Rb, Th, U, La, Ce, Sr, Nd, P, Ti, Y, com baixas em Ba, Nb, Zr, tanto na fácies félsicas como nas máficas.

Estes aspetos são característicos de rochas calco alcalinas modernas associadas com a subdução, podemos concluir que houve contaminação da fonte dos magmas com o material possivelmente associado a zona de subducção de idade paleoproterozoica (Melo, 2002).

- Os resultados obtidos com os SIG permitem algumas considerações relevantes, considerando que este método equaciona um bom acervo de dados que estava disponível e avaliar de maneira rápida e flexível a potencialidade mineral desta região. Essa análise permite que os custos sejam reduzidos para áreas com profundo conhecimento geológico, geofísico e geoquímico.
- O resultado dos dados merece uma investigação mais detalhada e profunda para cada foco de afloramento existente no posto administrativo de Iuluti e Chalaua. A

abordagem da análise a partir dos dados data-driven, não necessita de modelos *metalogenéticos* e nem de um especialista em *mineralizações* ou em geologia evitando-se o direcionamento dos resultados por critérios subjetivos.

- Por outro lado, esse direcionamento será dado pela qualidade e pela quantidade de dados disponíveis e, portanto, um bom acervo de dados é fundamental para a confiabilidade dos resultados oriundos desta análise.
- Os pegmatitos com um bom desenvolvimento de zonalidade e com uma generosa mineralização ocorrem principalmente nos gnaisses anfibólicos biotíticos, nos anfíbolitos e outras rochas mais básicas, que afloram na licença 4029 e tendo amostra com o mesmo número. Nos gnaisses ácidos e nos granitoides encontram-se pegmatitos de fraca mineralização. (G-13 e NA-01).
- A ocorrência de turmalinas, granadas e outras gemas, nessa região, está associado a depósitos coluvial e eluvial de dois níveis, sendo um de cascalhos e outro de seixos em profundidades maiores.
- O pegmatito da amostra 40-30, pelas análises de microsonda das suas granadas revelam ter um grau de evolução compatível com uma mineralização rica em Lítio, e dessa forma favorável à ocorrência de gemas neste pegmatito e/ou em pegmatitos circundantes.

7.1 Trabalhos futuros

- Criar critérios de preditividade locais que permitam encontrar os pegmatitos que geram as turmalinas paraíba que se encontram nos rios
- Criar critérios que permitam distinguir à superfície que pegmatitos com turmalinas são capazes de gerar gemas
- Mapear a zona de pegmatitos de Mogovolas-Iuluti

8 Referências Bibliográficas

- Almeida et al. (2009) *Geochemical characterization of metaultramafic and metamafic rocks from Pajeú-Paraíba Belt - Northeast Brazil*. Anu. Inst. Geocienc. v.32 n.1 Rio de Janeiro-june. Print version ISSN 0101-975.
- Afonso, R. S. (1978) *A Geologia de Moçambique (notícia explicativa da carta geológica. 1:2000 000)*. Imprensa Nacional de Moçambique. 27p
- Afonso, R. S. & Marques, J. (1993) *Recursos Minerais da República de Moçambique, contribuição para o seu conhecimento*. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa e Direcção Nacional de Geologia, Maputo. 149p.
- Afonso, R. S.; Marques, J. & Ferrara, M. (1998) *A Evolução Geológica de Moçambique*. Instituto de Investigação Científica de Lisboa e Direcção Nacional de Geologia – Maputo. Edição do Ministério de Ciência e Tecnologia e Instituto de Investigação Científica Tropical. 95p.
- Batchelor, R. A. & Bowden, P. (1985) *Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters*. Chemical Geology 48, 43–55.
- Barros R. M. F & Vicente C. A. M. (1963) *Estudo dos campos pegmatíticos da Zambézia*. Campanha de 1963. Inter. Rep., ING, pg. 1-133 I., 134- 290 II., 291-439 III., Maputo.
- Barros, Rui Figueiredo de. (1983) *Classificação dos pegmatitos da Zambézia (Moçambique)*. Braga: Tip. Cruz. - p. 299-305. Geologia de Portugal. Cota 7-294.LNE
- Bastin, Edson S. (1911) *Geology of the pegmatites and associated rocks of Maine including feldspar, quartz, mica and gem deposits*. Washington .
- Billa, M., et al. (2004) *Predicting gold-rich epithermal and porphyry systems in the central Andes with a continental-scale metallogenic GIS*. Ore Geology reviews 25-39-67.
- Biond, J.C. (1986) *Depósitos de Minerais Metálicos de Filiação Magmática*. São Paulo. T.A. Queiroz: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração. 107-109.
- Bonham-Carter G.F. (1997) *GIS methods for integrating exploration datasets. Proceedings of Exploration: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, 59-64.

- Brisbin, W. C. (1986) *Mechanics of pegmatite intrusion. Amer.Mineral*, Vol.71, p.644-651
- Brongniart A. (1813) Classification et caractères minéralogiques des roches homogènes et hétérogènes. F. G. Levrault, Paris.
- Brown W.M. (2000) *Artificial neural networks: a new method for mineral prospectivity mapping*. Australian Journal of Earth Sciences, 47(4): 757-770
- Cameron, E. N. et al. (1949) *Internal Structure of Granitic Pegmatite's. Urbana, economic geology*,. 115 p. (Economic Geology, Monograph 2).
- Carvalho, D. (2004) *Estudos mineralógicos e microtermométricos de berilo dos pegmatitos Ipê, Ferreirinha, Jonas Limas e Escondido, Governador Valadares, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Černý, P (1982)- *Anatomy and Classification of Granitic Pegmatite. Granitic Pegmatite sin. Science and industry*. Winnipeg. Mineralogical Association of Canada
- Černý P. (1991). *Rare-element granitic pegmatites, Part I. Anatomy and internal evolution of Pegmatite deposits. Geoscience Canada*, 49-67.
- Černý, P. & Ercit, T.S. (2005) - *Classification of Granitic Pegmatite's Revisited. The Canadian Mineralogist*. Vol. 43, pp. 2005-2026 (2005).
- CGS (2006) - *Notícia Explicativa / Map Explanation. Folhas/sheets Alto Molócuè (1537), Murrupula (1538), Nampula (1539), Mogincual (1540), Errego (1637), Gilé (1638) and Angoche (1639 –40)*. DNG.33-41-302-303
- Chappel, B.W & White, A.J.R (1992) - *I and S type granites in the Lachlan Fold Belt*. Trans. Royal Soc. Edinburg: Earth Sci. 83:1-26
- Chauque, F, R. (2008) -*Estudo geocronológico, litogeoquímico e de geoquímica isotópica de alguns carbonatitos e rochas alcalinas de Moçambique*. Instituto de Geociências. USP.
- Cond-Sun, S.S. & Mc Donald, W.F. (1989) -*Chemical and isotopic systematic of oceanic.basalts: implications for mantle composition and processes*. In: A.D. Saunders, & M.J. Norry (Eds) *Magmatism in the ocean basins*, Geol. Soc. London Spec. Publ., 42: 315-345
- Costa, B. da. (1993) - *Estudos e Classificação das rochas por exame macroscópico*. 8ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Costa, M,M,C,P (2006) - *Geoquímica de Granitóides de Pera Velha-Vila Nova de Paiva-. Ferreira de Alves*. Dissertação de mestrado em Geoquímica. Universidade de Aveiro

- Cronwright, M.S.C (2005)- *A review of the rare-element pegmatite's of the Alto Ligonha Pegmatite Province, northern Mozambique and exploration guideline*; Ph.D. Thesis, Rhodes University Grahams town South Africa, South Africa.
- Cumbe, A. N.F. (2007) - *O Património Geológico de Moçambique: Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação*. Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação. Universidade do Minho. 6-71
- Dana, J.D. (2008)-*Manual of Mineralogy*. Merchant Books. ISBN. La Vergne. USA. 132, 154,176,184.
- Dana, J.D. (1998) -*Manual de Mineralogia*. Merchant Books. ISBN. La Vergne. USA
- Debon, F.; Le Fort, P. (1983) - *A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations*. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 73,135-149.
- De la Roche, H., Leterrier, J., Grand Claude, P. and Marchal, M. (1980), *A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses - its relationships with current nomenclature*. *Chemical Geology*, 29, 183-210
- Delesse. A., (1849) - in FAVRE, 1849.
- Delesse A., (1871). - *Lithologie des mers de France et des mers principales du globe*. *Lithologie du fond des mers*. Public, scientif.-industrielles de E. Lacroix, Paris, p. 91-92, 136 p.
- De la Roche H. & LeTerrier J. (1973). Transposition du tetraedre mineralogique de Yoder et Tilley dans un diagramme chimique de classification des roches basaltique. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser.*, 276:3115-3118.
- De Paolo, D.J. (1981) -*A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges*. California. *Jour. Geophysics. Recs.* 86. 10470-10488.
- Deer, W. A.; Howie, R. A. & Zussman, J. (1966) – *Minerais Constituintes das Rochas*. 3ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, 705p
- Deer W. A., Howie H. A., Zussman J.(1992). *An introduction to the rock-forming minerals*. Longman Ed (2 ed).
- Deer, W. A.; Howie, R. A. & Zussman, J. (2010) - *Minerais Constituintes das Rochas*. 4ª Edição da Fundação Calouste Gulbenkian, tradução de Macedo, C. A. R.; p. 403-469.
- Deveaud S, Gumiaux C, Gloaguen E, Branquet Y (2013) *Spatial statistical analysis applied to rare-element LCT-type pegmatite fields: an original approach to constrain faults–pegmatites–granites relationships*. *Journal of Geosciences*, 58, pp 163–182

- Eberle et al (2010) - *Mapeamento Aero-geofísico de pegmatitos mineralizados na Província Pegmatítica de Alto Ligonha, no Norte de Moçambique*. Revista Brasileira de Geociências. 40(4): 527-536
- Fersman, A.E. (1931)- *Les Pegmatites, leur importance scientifique et pratique*. Belgica, Universidade de Louvain, 3 v.
- Folk R. L. (1955) - *Note on the significance of “turbid” feldspars*. Amer. Mineral., **40**:356-357.
- Frost B.R. et al. (2001): *A Geochemical Classification for Granitic Rocks*. Journal of Petrology 42, 2033-2048. Table 1: A geochemical classification scheme for granitoids:file:///C:/Program%20Files/R/R2.13.2/library/GCDkit/Diagrams/Geotectonic/FrostTable.htm.
- Gandini A.L. (1999). *Aspectos da mineralogia, geoquímica, génese e potencialidade econômica do Campo Pegmatítico de Marilac*, Minas Gerais. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 261p.
- Goldschmidt, J.R. & Laves, F. (1954) -*The microcline-sanidine stability relations.*— Geochim. Cosmochim. Ac., 5, 1–19.
- GTK Consortium (2006a). *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. DNG Volume 4, Maputo.
- GTK Consortium (2006b). *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. DNG Volume 1, Maputo
- Hancock, P. L., Skinner, B. J. & Dineley, D. L. (2000). *The Oxford Companion to the Earth*. Oxford: Oxford University Press.
- Harris J.R., Wilkinson, L & Grnsky, E.C. (2000) - *Effective use and interpretation of lithogeochemical data in regional mineral exploration programs: application of Geographic Information Systems (GIS) technology*. Ore Geology Reviews, 16:107-143.
- Hanson, S.L., Simmons, W.B., Falster, A.U., Foord, E.E., Lichte, F.E.(2003). *Proposed nomenclature for samarskite-group minerals: new data on ishikawaite and calciosamarskite*. Min. Mag. 63, 27–36
- Hawthorne, F.C., Oberti.R. (2007)-*Classification of the Amphiboles*. Reviews in Mineralogy and Geochemistry.
- Hawthorne et al (2012)-. *Nomenclature of the amphibole supergroup*. American Mineralogist. Volume 97, p. 2031 – 2048
- Haüy. R. J. (1801), *Traité de Minéralogie*, Paris, 1, 368.

- Jahns, R. H.(1955) *The study of pegmatites: economic geology*. 50th Anniver. p.1025-1130
- Jahns, R.H. (1982). *Internal evolution of pegmatite bodies, in "Granitic Pegmatites in Science and Industry"*, P. Černý, eds., Mineral. Assoc. Can. Short Course Handbook, 8, 293-327.
- Johnston Jr., W. D. (1945)- *Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM, 85 p. (Boletim 72).
- Kemp, J. F. (1924) *The pegmatites. Economic Geology*. V. 19, n 8,p. 697-723.
- Klein C & Dutrow B. (2012) - *Manual de ciências dos Minerais*. Porto Alegre. Bookman.23ed.
- Lächelt, S., 2004. *The geology and mineral resources of Mozambique*. Direcção Nacional de Geologia, Mozambique.Council for Geoscience (515 pp.).
- Landes, K. K. (1933). *Origin and classification of pegmatites*. In: American Mineralogist. v.18, n.2, p.33-56, 95-103.
- Le Bas. et al. (1986). *A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram*. Journal of Petrology 27, 745 – 750
- Lopes Nunes, J. E. (1973) – *Contribution à L'étude Minéralogique et Géochimique des Pegmatites du Mozambique*. Tese apresentada para a obtenção do grau de doutoramento na Universidade de Nancy, França.
- Lopes Nunes, J. (1979) – *Amazonites de Moçambique – Novos Dados sobre a sua Composição*. Separata do Tomo LXIV das comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal.
- London, D. (2005) – *Granitic pegmatite's: An Assessment of Current Concepts and Directions for the Future*. Lithos vol. 80, p. 281–303. ELSEVIER.
- Lima, A. M. (2000) - *Estrutura, mineralogia e génese dos filões aplito pegmatíticos com Espodumena da região Barroso-Alvão*. Tese de Doutoramento em Geologia apresentado na Universidade de Porto (FCUP).
- Macey, P.H. (2007) - *Map Explanation Sheets Alto Molócuè (1537), Murrupula (1538), Nampula (1539), Mogincual (1540), Errego (1637), Gilé (1638), and Angoche (1639–40)*. National Directorate of Geology, Republic of Mozambique
- Macuácuá, A. F. (2010)- *Interpretação dos dados aeroradiométricos das Províncias de Zambézia e Nampula*; Direcção Nacional de Geologia de Moçambique.
- Martin, R. F. (1969) - *Synthesis of Low Albite*. Contrib. Mineral Petrol., vol. 23, p.323-339.

- McDonough, W.F., Stosch, H.G. and Ware, N.G. (1992) Contribution. *Mineral. Petrology*. 110, 321-8.
- Mello, Silvana de (2000) - *Estrutura, Petrologia e Geocronologia do batólito brejo da Madre de Deus*. Brasil. Tese de Doutorado apresentado na Universidade Federal de Pernambuco. p95
- Moiana, M. (2010) - *Certeza Geológica da Ocorrência e Viabilidade Económica para o Aproveitamento dos Berilos “True Blue” de Licungo, Zambézia, Moçambique*. Dissertação de Mestrado em Ordenamento e Valorização dos Recursos Geológicos na Universidade de Minho
- Moretz L., et al. (2013) *The Composition Of Garnet As Indicator Of Rare Metal (Li) Mineralization In Granitic Pegmatite's*. PEG 2013: The 6th International Symposium on Granitic Pegmatite's. p. 94
- Moura, O. et al (1979) - *Relatório de Pesquisa do Pegmatito M-520 – Linópolis*. Metamig, Belo Horizonte. (Rel.Int.).
- Moura, A & Velho, L. (2011): *Recursos Geológicos de Portugal*. Coimbra. Palimage. 265.
- Muchangos, A. dos. (1999) - *Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais*. Edição: do Autor. 5-111.
- Naumann C. F. (1854) *Lehrbuch der Geognosie*. (Engelmann, Leipzig), 2.
- Neiva & Gomes (2010) - *Geoquímica das turmalinas do grupo pegmatítico granítico Li-Cs-Ta de Naípa, Alto Ligonha, Moçambique*. VIII Congresso Nacional de Geologia (Braga). Portugal.
- Neto, el al (2008) - *Pegmatito Várzea Torta: evolução interna, relações com os granitos de anatexia adjacentes e potencial metalogenético*. www.revistadegeologia.ufc.br
- Obretenov N. (1978)- Campos pegmatitos da Zambézia (Relatório). Maputo. DNG
- Pearce, J. A. & Cann, J. R. (1973). *Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses*. Earth and Planetary Science Letters 19, 290–300
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G. (1984). *Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks*. J. Petrol., 25 (4), 956-983.
- Pereira, M.F.C. *Fundamentos e guia de apoio as aulas de laboratório. Análise mineralógica e*

análise textural. Engenharia Geológica e de Minas. IST

Perfil do distrito de Mogovolas (2005) - Republica de Moçambique. Ministério de Administração Estatal.

<http://www.portaldogoverno.gov.mz/Informacao/distritos/nampula/Mogovolas.pdf>

Perfil do distrito de Moma (2005) - Republica de Moçambique. Ministério de Administração Estatal. <http://www.portaldogoverno.gov.mz/Informacao/distritos/nampula/Moma.pdf>

Pessoa, J. (2013) - *A Turmalina Paraíba e seus cenários*. Monografia apresentada na Universidade Federal de Paraíba. Centro de Ciências Exactas na Natureza

Rodrigues, et al. (2010) - *Evolução Mineralógica em Processos de Fenitização. Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História*. Volume I. Publicação Comemorativa do “Ano Internacional do Planeta Terra. Porto-Portugal.

Schaller, W. T. (1925) Genesis of lithium pegmatites: Am. Jour. Sci., 5th ser., v. 210, p. 269-279.

Shearer C.K., Papike J.J., Simon S.B., Laul J.C., Christian R.P. (1984) - *Pegmatite/ wall rocks. interations, Black Hills, South Dakota: progressive boron metassomatism adjacent to the Tip Top pegmatite*. Gechemica et Cosmochimica Acta, 48:2563-2579

Simmons, et al. (2003- *Pegmatology, Pegmatite Mineralogy, Petrology and Petrogenesis*. New Orleans. Rubellite Press.

Simmons, S. & Webber, K. L. (2008) – Pegmatite Genesis: State of the Art. European Journal of;Mineralogy, vol. 20, nr. 4, p. 421-438

Smirnov, V. T. (1982) - *Geologia de Yacimentos Minerales*.Mir Moscov.

Solodov, N. A. (1959). *Certain regularities of distribution of rare elements in sharply zoned granitic pegmatites*. Geochemistry. Ann. Arbor 4.388-405

Sun, S.S. & McDonough, W.F. (1989) *Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*. In: A.D. Saunders, & M.J. Norry (Eds) Magmatism in the ocean basins, Geol. Soc. London Spec. Publ., 42: 315-345.

Taylor SR, McLennan SM (1981) -*The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks*. Philos Trans R Soc Lond A 301:381–399

Thompson, R. N. (1982). *British Tertiary volcanic province*. Scottish Journal of Geology, 18,.

Veiga, A. (2011) - *Caracterização Geotécnica dos Terrenos do Vale Tifónico Parceiros-*

Leiria. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra. p134.

Velho, J.L; Gomes, C. & Ramariz, C. (1998) -*Minerais Industriais. Geologia, Propriedades, Tratamentos, Aplicações, Especificações, Produções e Mercados*. Coimbra. Gráfica de Coimbra, Lda.261-262-377-386

Velho, J.L. (2005) - *Mineralogia Industrial: Princípios e Aplicações*. Coimbra: Lidel.

Williams, et al. (1970) - *Petrografia. Uma introdução ao estudo das rochas sem secções delgadas*. Editora polígono. São Paulo. 248-259

Wilson, M. (1989) - *Igneous Petrogenesis*. London Unwin Hyman.

Anexos I-Carta Previsional de Moma

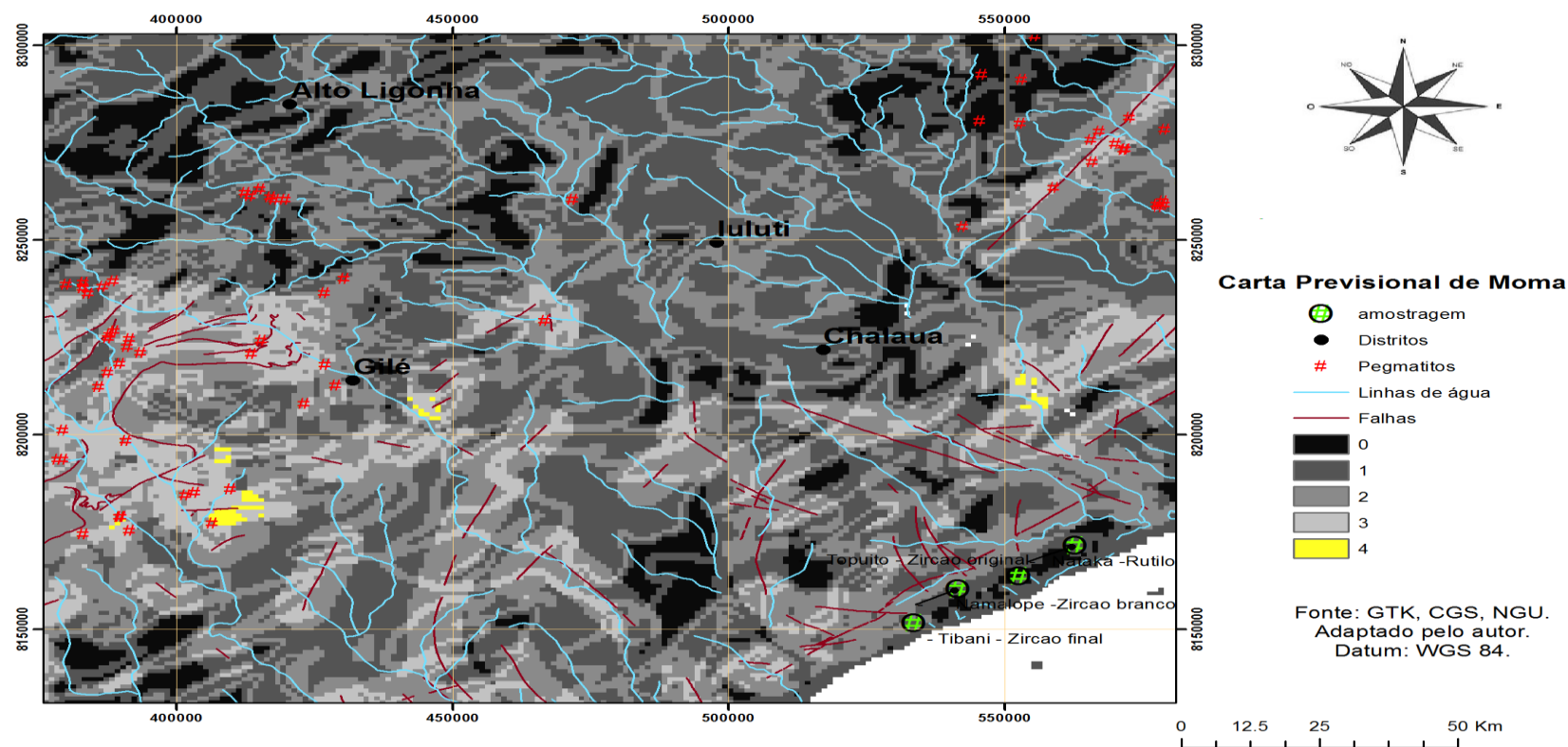


Figura 1: Carta Previsional de Moma (Somando os quatro critérios no projecto: Geologia com pegmatitos, distancia 1Km ao contacto (a media está a 700m e o desvio padrão é 1Km), distancia 5km às falhas, distancia 2km aos anticlinais.

Anexo II-Análises CIPW

Tabela 1: Resultado do cálculo da norma C.I.P.W. para as amostras do G-13, NA-01 e 4029.

	4029(Norma)		G-13 (Norma)		NA-01 (Norma)	
	Peso %	Vol. %	Peso %	Vol. %	Peso %	Vol. %
Quartzo	6.70	8.15	24.95	24.81	34.83	34.79
Plagióclase	25.88	30.69	18.38	18.49	15.35	15.50
Ortóclase	0.77	0.97	52.12	53.65	45.09	46.62
Corundo	-	-	4.07	2.69	3.30	2.19
Diópsido	28.79	28.12	-	-	-	-
Hiperstena	25.27	24.03	0.04	0.02	0.10	0.08
Magnetite	11.51	7.14	0.12	0.06	-	-
Rutilo	-	-	-	-	0.65	0.41
Ilmenite	0.76	0.52	-	-	0.47	0.26
Hematite	-	-	-	-	0.15	0.08
Apatite	0.21	0.21	-	-	0.05	0.04
Pirite	-	-	0.08	0.04	-	-
Na ₂ SO ₄	0.14	0.17	0.02	0.02	0.04	0.04
Total	100.03	100.00	100.3	99.99	100.03	100.01